

HEC MONTRÉAL

SCIENCE DE LA GESTION : LOGISTIQUE INTERNATIONALE

OPTIMISATION DE CONFIGURATION D'UN ENTREPÔT ET DE L'ALLOCATION DES PRODUITS AYANT UNE DEMANDE DYNAMIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE MAITRISE ÈS SCIENCES
(M. SC.)

DAVID SUISSA

Sommaire :

La recherche présentée développe un modèle afin d'optimiser la configuration d'un entrepôt dans le but d'évaluer les besoins en espace et de trouver l'allocation des produits à travers les différentes zones de stockage. Cette méthodologie réalisée avec les données d'un acteur majeur du commerce de détail à Taïwan, évoluant dans un environnement ayant une demande dynamique, vient aussi apporter des solutions quant à l'externalisation du stockage d'une partie de sa marchandise. Aujourd'hui, l'entreprise faisant déjà face à une saturation de sa capacité de stockage durant les périodes de pic saisonnier, doit également penser au futur où est planifiée une croissance du nombre de ses détaillants. C'est pour cela qu'une batterie de scénarios concernant différentes configurations d'espace et de demande sera analysée.

La fonction objective du modèle viendra minimiser le coût total d'opération de chacun des scénarios étudiés. Cette minimisation sera atteinte grâce à l'utilisation de variables, venant répondre à deux décisions. Une première décision tactique affectant la marchandise à travers chaque zone de stockage tout en s'assurant de respecter leurs capacités de stockage. Une seconde qui si nécessaire viendra également donner la possibilité d'utiliser un espace d'entreposage externe afin de contrer toute saturation de la capacité de stockage. Cette affectation de la marchandise prendra en compte les coûts de manutention, d'installation ainsi que ceux liés à l'externalisation des activités de stockage.

Les résultats obtenus démontrent qu'une affectation cohérente des produits à travers les flux de stockage engendre des résultats économiques de qualités. De plus, le modèle de par son adaptabilité est devenu un outil d'aide à la décision pour l'entreprise qui poursuit son utilisation afin de prendre des décisions concernant son futur entrepôt.

Mots clés : Configuration d'entrepôt ; Allocation des produits ; Demande dynamique ; Externalisation d'entreposage ; Scénario

Table des matières

<u>TABLE DES MATIERES.....</u>	<u>III</u>
<u>LISTE DES GRAPHIQUES.....</u>	<u>V</u>
<u>REMERCIEMENT.....</u>	<u>VII</u>
<u>CHAPITRE I: INTRODUCTION.....</u>	<u>1</u>
1.1 CONTEXTUALISATION	1
1.2 REGARDS SUR L'ENTREPOSAGE	5
1.3 CONTRIBUTION	7
1.4 CADRE DE L'ETUDE.....	9
<u>CHAPITRE II : REVUE DE LITTERATURE.....</u>	<u>12</u>
2.1 TAILLE.....	12
2.1.1 TAILLE OPTIMALE DE L'ENTREPOT	13
2.1.2 TAILLE AVEC ESPACE PUBLIC DE STOCKAGE	14
2.2 POLITIQUES D'AFFECTATION	16
2.2.1 LE PROBLEME DE L'AFFECTATION DES PRODUITS	17
2.2.2 LE PROBLEME DES COUTS DE STOCKAGE	20
2.2.3 LE MODELE D'HERAGU	21
<u>CHAPITRE III : MISE EN CONTEXTE.....</u>	<u>24</u>
3.1 LES OPERATIONS ACTUELLES	24
3.2 LE FUTUR ENTREPOT	30
3.3 SPECIFICITE TAÏWAN	31
<u>CHAPITRE IV : LE MODELE.....</u>	<u>32</u>
4.1 EXTENSION DU MODELE D'HERAGU.....	32
4.2 FORMULATION DU PROBLEME	38
4.3 DESCRIPTION DU MODELE	41
<u>CHAPITRE V : APPLICATION DU MODELE A UNE SITUATION REELLE.....</u>	<u>46</u>
<u>CHAPITRE VI : ANALYSE DE SCENARIOS</u>	<u>52</u>
6.1 SCENARIO 1 : CONFIGURATION ACTUELLE.....	52
6.2 SCENARIO 2 : CONFIGURATION ACTUELLE AVEC ESPACE EN HAUTEUR SUPPLEMENTAIRE.....	58
6.3 SCENARIO 3 : NOUVELLE CONFIGURATION.....	64
6.4 RECAPITULATIF	69

<u>CHAPITRE VII : FRACTIONNEMENT DE LA PERIODE DU PROBLEME</u>	<u>74</u>
7.1 COMPARAISON COUTS SCENARIO 3 ET SCENARIO 3A + 3B	74
7.2 LA POLITIQUE D’AFFECTATION SCENARIO 3A ET SCENARIO 3B.....	77
<u>CHAPITRE VIII : ANALYSE AVEC AUGMENTATION DU NOMBRE DE DETAILLANTS</u>	<u>82</u>
8.1 CROISSANCE DES DETAILLANTS	82
8.2 SCENARIO 4 : AVEC CROISSANCE DU NOMBRE DE DETAILLANTS	85
<u>CHAPITRE IX : L’ENTREPRISE ET LE MODELE</u>	<u>91</u>
<u>CONCLUSION.....</u>	<u>93</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>95</u>

Liste des Graphiques

Graphique 1: Schéma des opérations logistiques de la région Grand Taipei	4
Graphique 2 : Types de flux	22
Graphique 3 : pourcentage de classe de produits par volume mensuel moyen de palettes entrantes	26
Graphique 4 : Flux en millier palettes années 2015	28
Graphique 5 : Flux en millier de palettes par types d'opérations.....	29
Graphique 6 : Exemple d'organisation des zones de stockages	30
Graphique 7 : Marchandise entrante en millier d'unités de palette	33
Graphique 8 : Consommation d'espace (S_j) par palette zone Cross Docking (mètre)	37
Graphique 9 : Consommation d'espace (S_j) pour deux palettes zone Reserve et Forward (mètre)	38
Graphique 10 : Répartition des classes de produits par zones de stockage (S1).....	54
Graphique 11 : Répartition des classes ayant un volume mensuel 0 à 10 palettes (S1)	54
Graphique 12 : Moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S1)	55
Graphique 13 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S1).....	56
Graphique 14 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S1).....	57
Graphique 15 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S2).....	60
Graphique 16 : Répartition des classes de produits par zones de stockage (S2).....	61
Graphique 17 : Moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S2)	62
Graphique 18 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S2).....	63
Graphique 19 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S3).....	65
Graphique 20 : Comparatif de la répartition des classes de produits par zones de stockages (S2 & 3)	66
Graphique 21 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S3).....	67
Graphique 22 : Comparatif moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S2 & 3)	68
Graphique 23 : Récapitulatif de capacité de stockage par scénario (unité de palettes)	69
Graphique 24 : Récapitulatif des coûts totaux par scénario (En million NTD)	70
Graphique 25 : Récapitulatif des envois totaux vers entrepôt externe par type de flux (En palettes)	71
Graphique 26 : Répartition des classes par volume de la demande du (S3).....	72
Graphique 27 : Comparatif nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe (S3 & S3a + 3b)	76
Graphique 28 : Comparatif nombre de palettes par type de flux (S3 et S3a + 3b)	77
Graphique 29 : Comparatif affectation à flux (S3a + 3b)	78
Graphique 30 : Récapitulatif des coûts totaux par scénario (En million TWD)	86
Graphique 31 : Comparaison de la moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S3 & 4).....	87
Graphique 32 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire... ..	88
Graphique 33 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S4).....	89
Graphique 34 : Récapitulatif de capacité de stockage par unité de palettes (S4).....	89

Liste des tableaux

Tableau 1 : Estimation des coûts de location en million de NTD (New Taiwan Dollar)	27
Tableau 2 : extrait de la base de données de la demande par magasin	46
Tableau 3 : Extrait base de données de la couverture d'inventaire mensuel	48
Tableau 4 : Comparaison des coûts totaux par scénario (En million NTD)	75
Tableau 5 : Transfert des classes de produits à zones	78
Tableau 6 : Évolution cycle d'inventaire moyen de la période 3a à 3b	80
Tableau 7 : Nombres de palettes sur les Périodes 3a et 3b	80
Tableau 8 : Demande mensuelle moyenne par typologie de magasin de détail	83
Tableau 9 : Impact de la croissance du nombre détaillants sur les périodes de saisonnalités ..	84

Remerciement

Premièrement, je voudrais grandement remercier Rami Baitiéh et Richard Chen de m'avoir donné la possibilité de réaliser mon mémoire au sein d'une telle institution. Appliquer les théories apprises à l'université dans un environnement des affaires concret était pour moi primordial afin de valider l'enseignement reçu au cours de mon programme d'étude. Je tiens tout particulièrement à remercier Tarcy Lin, Philo Han et Dick Yu pour leurs aides dans la compréhension des processus des opérations ainsi que dans l'obtention des données avec lesquelles j'ai effectué ce mémoire. Pour finir, je voudrais remercier Mehdi Jekki et Réda Abdelhannane qui ont facilité mon intégration dans l'entreprise ainsi que Shinji Ueda qui a été d'un grand support.

Je tiens également à remercier Yossiri Adulyasak et Ola Jabali sans qui faire cette recherche n'aurait pas été aussi agréable. Je tiens à les remercier de m'avoir canalisé afin que je ne m'éparpille pas trop tout au long de ce travail. J'ai eu la chance d'apprendre énormément à leurs côtés et j'ai le plaisir d'affirmer qu'ils ont grandement contribué à ma formation en tant qu'élève et futur praticien.

Compléter la maîtrise en Logistique internationale d'une université aussi réputée que HEC Montréal, est un accomplissement dont je suis très fier. Au cours de ce programme, j'ai pu apprendre abondamment et découvert un vif attrait pour ce qui est de cette profession. Je recommanderais ardemment ce programme à quiconque souhaiterait apprendre la logistique.

Pour finir, je souhaiterais remercier mes parents et ma famille qui ont été d'un support incommensurable durant toutes mes études. Sans eux, je n'aurais pas pu le faire.

Chapitre I: Introduction

1.1 Contextualisation

Cette thèse réalisée en collaboration avec une grande entreprise de l'industrie du commerce de détail à Taiwan examine une méthodologie afin de planifier les besoins en espace et l'allocation des produits à travers les différentes zones de stockage d'un nouvel entrepôt. Actuellement, cette entreprise fait face à des problèmes liés à la capacité de stockage de ses entrepôts durant les périodes de pic saisonnier. Souhaitant augmenter le nombre de ses détaillants au cours des prochaines années ces problèmes de capacités vont devenir de plus en plus insistants. Afin de résoudre ce défi, l'entreprise a pris la décision de consolider les deux entrepôts actuellement loués pour déménager dans un nouvel entrepôt unique. C'est dans cette optique que l'entreprise souhaite réaliser des scénarios concernant l'impact de la demande sur ses opérations d'entreposage.

L'entreprise avec laquelle nous réalisons cette étude est implantée sur le marché taïwanais depuis la fin des années 1980 et est considérée comme un acteur majeur de cette industrie. Cette dernière s'est assurée tout au long de son implantation sur le territoire une couverture de la demande dans tout le pays grâce à ses 74 magasins. Cette couverture est découpée en 4 grandes régions desservant l'ensemble du territoire :

- Taipei Nord
- Taipei Sud
- Région Centre

- Région Sud

Aux fils des années, des changements au sein de l'environnement concurrentiel de l'industrie du commerce de détail à Taïwan sont intervenus et se sont manifestés sous plusieurs formes. Par exemple, un concurrent historique de l'entreprise a décidé de poursuivre une croissance très agressive du nombre de ses magasins de type supermarché en passant de 600 magasins à 1 000 magasins sur une période de 5 ans. Afin de répondre à une telle croissance, ce concurrent a investi massivement dans ses infrastructures, notamment en construisant de nouveaux entrepôts et usines de transformation de produits frais.

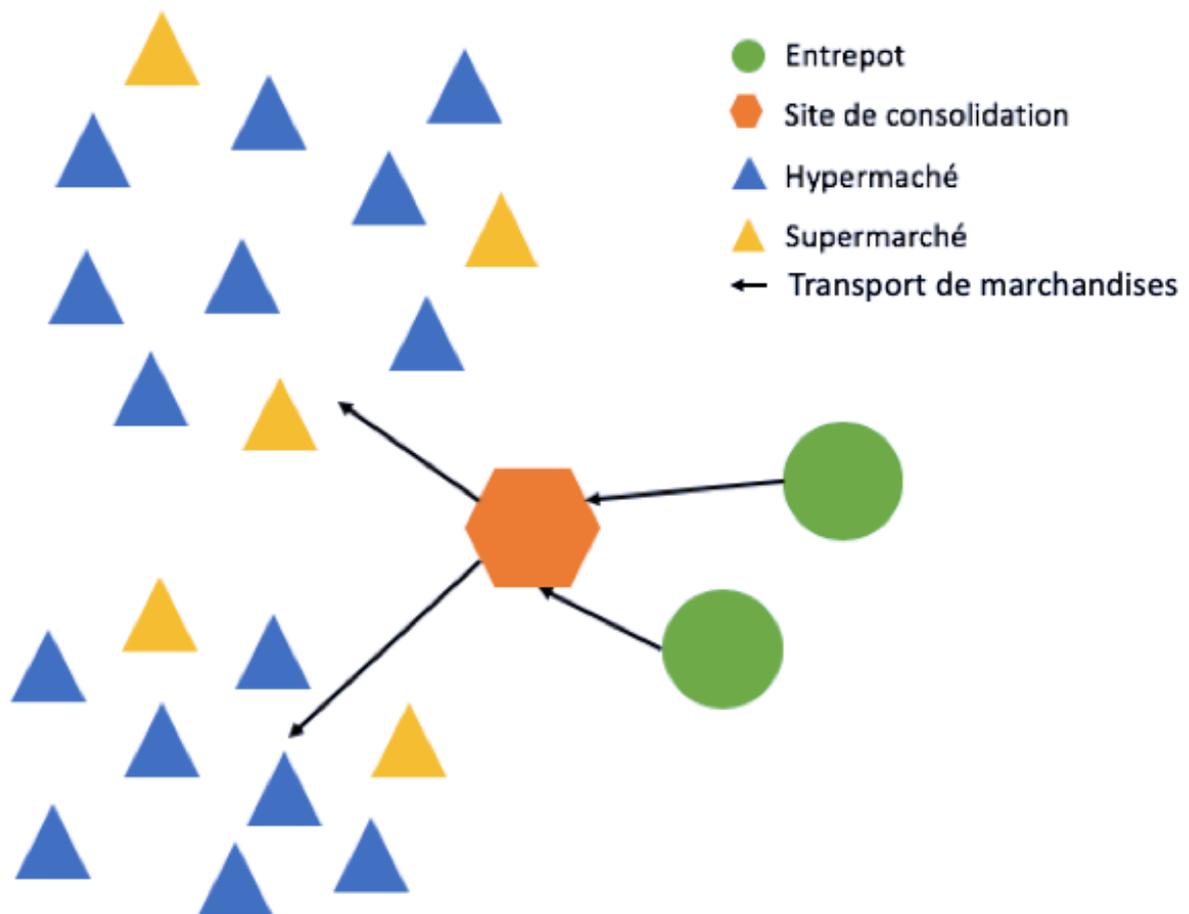
Par ailleurs, un nouvel entrant ayant un modèle d'affaires totalement différent a fait son apparition sur le marché. Ce nouvel acteur se démarque d'une part, par une faible présence du nombre de magasins, et d'autre part, par une gamme réduite de produits qu'il ne vend qu'en grande quantité, ce qui permet de réaliser des économies d'échelles et donc d'offrir des prix attractifs. Le fait que la population taïwanaise vive dans de petites surfaces dans lesquelles il n'y a pas forcément de cuisine ou d'espace de rangement a laissé croire que ce « business model » ne fonctionnerait pas pour ce marché. Cette supposition s'est révélée erronée, car les clients se sont regroupés à plusieurs foyers pour réaliser leurs achats.

Pour répondre aux changements au sein de l'environnement concurrentiel évoqué ci-dessus, il a été décidé par la direction de l'entreprise, de poursuivre une stratégie d'expansion de son nombre total de magasins. Ce sont les magasins de type supermarché qui pour s'assurer une couverture de la demande plus importante et ainsi rencontrer un maximum de clients, seront amenés à croître. Il est important de préciser que la typologie du type de magasins est définie selon sa surface de vente (plus de détail dans la section 3.1). Cette décision stratégique

va venir accentuer un challenge auquel fait actuellement face le département logistique, qui est celui de la saturation de la capacité de stockage de ses deux entrepôts situés dans la région du « Grand Taipei » regroupant les régions Taipei Nord et Sud.

Les opérations de transport de marchandises des entrepôts vers les magasins s'effectuent selon la procédure suivante. Dans un premier temps, les deux entrepôts reçoivent la marchandise, cette dernière est réceptionnée, stockée puis groupée afin d'expédier les commandes des magasins. Il est important de préciser que chaque entrepôt à un type d'opération de stockage différent. L'entrepôt 1 effectuera les opérations de type Reserve où les produits resteront dans l'entrepôt pour une période donnée. L'entrepôt 2 quant à lui s'adonnera aux opérations « Cross Docking » dans lesquelles les commandes des magasins seront expédiées le jour de la réception de la marchandise. Une fois les commandes groupées, celles-ci seront envoyées à un centre de transbordement où elles seront consolidées et expédiées vers les magasins. Nous pouvons préciser ici que la séparation des commandes par magasin est directement accomplie au sein de l'entrepôt 2. Cependant, cela n'est pas le cas pour l'entrepôt 1 où les commandes des magasins ont un volume bien plus important lié à la taille de la marchandise ainsi que par sa quantité. Il faut donc dans un premier temps séparer l'ensemble de la marchandise pour par la suite, la consolider par magasin avec les produits venant des opérations « Cross Docking ». Le graphique 1 ci-dessous vient schématiser les opérations pour la région du « Grand Taipei ».

Graphique 1: Schéma des opérations logistiques de la région Grand Taipei



La consolidation des deux entrepôts devrait également supprimer le recours au site de consolidation des palettes.

Cette étude réalisée a deux objectifs principaux pour l'entreprise. Le premier d'entre eux a été de pouvoir s'assurer que le projet de consolider leurs deux entrepôts sur un site unique n'engendrerait pas un surcoût financier. Étant un projet important l'approbation de ce projet va être décidée par une commission de la maison mère du groupe qui mènera sa réflexion aux regards des éléments apportés par l'entreprise. Le deuxième est de trouver un espace de stockage dans le nouvel entrepôt permettant un bon déroulement des opérations logistiques de l'entreprise.

Notre étude vient donc répondre à ces deux objectifs. Les questions liées à la localisation du nouvel entrepôt ont été exclues du cadre de notre étude pour diverses raisons, parmi lesquelles le fait que l'entreprise n'a pour le moment pas de site potentiel pour l'installation d'une nouvelle infrastructure. Les options sont limitées d'une part du fait des lois taïwanaises qui autorisent ce type de bâtiment uniquement dans certaines zones industrialisées et d'autre part, parce que la localisation des futurs magasins n'est pour le moment pas défini. Ces facteurs expliquent également la non-considération des coûts de transports afin d'approvisionner les magasins.

1.2 Regards sur l'entreposage

Après avoir décrit le contexte de cette recherche, nous allons décrire les fonctions que doit remplir un entrepôt ainsi que les stratégies permettant de trouver un équilibre entre la fluidité des déplacements au sein de l'installation et une bonne utilisation de l'espace.

Les objectifs principaux d'un entrepôt peuvent se diviser en deux groupes distincts. Le premier groupe peut être défini comme le stockage temporaire et la protection de la marchandise. Le second groupe doit offrir des services créant de la valeur ajoutée telle que le service après-vente, la réparation des biens (Heragu et al., 2005). Les activités de stockage se réfèrent au mouvement des biens dans l'entrepôt comme la réception des biens, le stockage la cueillette des commandes et l'envoi de la marchandise (Van Den Berg et al., 1999). Plus précisément, les activités de stockage sont reliées à la gestion des inventaires. Cette gestion doit permettre un haut taux d'utilisation de l'espace, tout en atteignant une manutention efficiente des biens. Cette gestion des inventaires viendra influencer le montant total de stock à détenir,

le taux de rotation ainsi que la place où les articles doivent être stockés à travers les différentes zones (Gu et al., 2007).

Certaines entreprises adoptent une logique de réduction des volumes totaux d'inventaire afin d'améliorer l'efficacité de leur chaîne d'approvisionnement notamment en consolidant un nombre important de petits entrepôts en un nombre restreint d'entrepôts de plus grande taille (Van Den Berg et al., 1999). L'accélération du taux de rotation de l'inventaire présente en effet l'avantage de consolider les entrepôts et donc, de fermer ceux qui sont sous-utilisés. Cette consolidation de l'inventaire dans un réseau contenant moins d'entrepôts doit permettre de réaliser des économies de frais d'entreposage, de manutention, de pénurie de stock ou encore de frais administratifs (Melachrinoudis et al., 2007). Cependant, il est primordial de veiller à ce que la modification du réseau logistique concernant les entrepôts n'augmente pas déraisonnablement la distance moyenne entre l'installation et les magasins. Ce qui aurait pour conséquence d'accroître les temps de livraisons et de baisser par la même occasion le niveau de service offert aux clients (Melachrinoudis et al., 2007).

L'affectation de l'inventaire se réfère à l'allocation des produits à travers les multiples zones de stockage comprises dans l'entrepôt, dans le but d'améliorer la performance de la cueillette des commandes (Chiang et al., 2011). Différentes stratégies d'affectation des produits ont été étudiées dans la littérature. La politique de stockage aléatoire consiste à stocker l'ensemble des marchandises entrantes, là où il y a de l'espace libre au moment de la réception (Önüt, 2008). Cette stratégie permet une bonne utilisation de l'espace, mais viendra accroître les déplacements à l'intérieur de l'installation (De Koster et al., 2007). La politique de stockage dédié quant à elle affecte chacun des produits à une position dédiée grâce à des facteurs tels que l'activité, le niveau de stock ou encore le poids (Lee et al., 1997) (De Koster et al., 2007). Cette

localisation statique de la marchandise apporte de bons résultats quant aux déplacements et aux contraintes d'espace (Lee et al., 2005). Cependant, elle ne permet pas l'atteinte d'un haut taux de l'utilisation de l'espace, car s'il n'y a plus de stock disponible pour un article, cet espace libre ne pourra pas pour autant être utilisé pour un autre produit (De Koster et al., 2007). Enfin, la stratégie de stockage basé sur les classes se propose d'organiser les produits en différentes classes et les affecter à un emplacement (Zhang et al., 2002). Par exemple, les articles peuvent être divisés en trois catégories A, B et C grâce à des indicateurs de demandes (Petersen et al., 2004). Cette classification va placer les produits avec un haut taux de rotation au plus près des zones d'envois au sein d'une même allée. Au contraire, les produits avec un faible taux de rotation vont se diriger vers l'arrière-cour de l'entrepôt. Cette stratégie va admettre la baisse des déplacements au sein de l'entrepôt (Le-Duc et al., 2005).

1.3 Contribution

Ce mémoire se propose d'étudier l'affectation des produits de l'entreprise ainsi que de définir la taille des différentes zones de stockage de son futur entrepôt. Afin d'atteindre cet objectif, nous allons développer un modèle qui aura pour résultat de définir la taille de chacune des zones de stockages ainsi que l'affectation des produits à travers ces dernières. Ce modèle étant appliqué à une situation réelle, nous avons également pris en compte l'utilisation d'espace de stockage externe afin de respecter l'environnement dans lequel évolue l'entreprise. Le modèle développé sera exécuté avec les données fournies par l'entreprise.

Au cours de cette étude, nous allons nous concentrer sur l'affectation des produits à l'intérieur du nouvel entrepôt. Cependant, l'approche utilisée se distinguera des stratégies citées ci-dessus. En effet, nous nous concentrerons sur les décisions stratégiques permettant de

minimiser les coûts de manutention et de location. Cette minimisation des coûts sera atteinte en définissant la taille optimale des zones de stockages de l'entrepôt. Par ailleurs, il est important de souligner que cette étude comprend un facteur de saisonnalité de la demande, principale cause incitant l'entreprise à avoir recours à la location d'espace de stockage supplémentaire.

La saisonnalité est définie comme une variation attendue de la demande. Pour réduire son impact, certaines entreprises utilisent des stocks tampons construits avant les pics dans le but de pouvoir répondre à l'augmentation planifiée de la demande (Chopra et al., 2007). Une autre solution serait de lisser la demande (Johnson et al., 2001). Cependant, il est inconcevable d'avoir recours à une telle solution dans notre cas. Effectivement, les deux pics saisonniers principaux interviennent au moment du Nouvel An chinois et du Mois des fantômes qui sont des fêtes traditionnelles taïwanaises.

Ces facteurs particuliers auront une influence significative sur notre modèle futur et l'atteinte de la taille optimale de l'entrepôt. En résumé, les contributions de cette recherche en plus de l'affectation de la marchandise à travers les zones d'entreposage et la définition de la taille de ces dernières seront :

1. Les décisions d'externalisation de l'entreposage
2. La saisonnalité de la demande
3. L'utilisation de données réelle d'une entreprise

1.4 Cadre de l'étude

Dans cette étude, nous allons nous concentrer sur les décisions d'allocation des produits à travers les différentes zones de stockages. Les différents types de flux de marchandise au sein de l'entreprise sont définis de la manière suivante:

- Area 1 Reserve Area : le stock est temporairement entreposé au sein de l'installation. Lorsqu'un magasin va passer une commande, les biens seront cueillis et ensuite livrés aux magasins. Cette zone utilise des racks afin de stocker la marchandise.
- Area 2 Forward Area : opérations et matériel identique à la zone Reserve Area. La seule différence vient du fait que cette zone est plus proche des portes de l'entrepôt, ce qui facilite les opérations pour les produits ayant une grande rotation de son inventaire.
- Area 3 Cross Docking : les produits passant par l'entrepôt seront expédiés le jour même de la réception. L'installation reçoit les commandes de chacun des stores et les consolide en une seule commande en vue de l'approvisionnement de ces derniers. Les biens sont ensuite séparés en différentes commandes pour chacun des magasins. Cette zone ne dispose d'aucun matériel de stockage particulier, si ce n'est un marquage au sol.

Comme précédemment mentionné, ce mémoire s'attachera à présenter l'allocation optimale de la marchandise à travers les différentes zones de stockage tout en définissant également leurs tailles respectives. Cela permettra de minimiser le coût total d'entreposage. Celui-ci se traduit par le coût de détention d'une unité de stock à travers un horizon de planification donné. Ce coût provient du coût du capital, du coût de stockage physique ainsi que du coût d'obsolescence des biens (Chopra et al., 2007).

Pour réaliser cette recherche, j'ai dû travailler plusieurs mois au sein de l'organisation afin d'étudier les opérations logistiques de l'entreprise, collecter et traiter les données sur la demande, le taux de couverture d'inventaire, les coûts d'opération. Ma présence au sein de l'organisation m'a permis de discuter avec un grand nombre d'employés de l'entreprise ce qui a été d'une grande aide afin de pouvoir définir les différents coûts utilisés dans les paramètres du modèle. Après plusieurs entrevues avec le directeur des opérations logistiques au cours desquels ont été discutées différentes méthodologies quant à l'atteinte des objectifs et la validation des analyses effectuées concernant la définition, des coûts, des paramètres ainsi que du traitement des données, il a été décidé que nous proposerons une extension du modèle de Heragu et al., (2005). Cette extension devra nous amener d'une part à la détermination de la taille de chacune des zones de stockage de l'entrepôt et d'autre part le lieu d'affectation des produits, tout en tenant compte des pics de saisonnalité.

L'heuristique développée par l'auteur a pour objectif de trouver la taille de chacune des zones de stockage de l'entreprise grâce à l'optimisation de l'affectation des produits. Cette approche fonctionnant en 6 étapes viendra minimiser les coûts annuels totaux de manutention et de stockage donnant un résultat proche d'une solution optimale. Cette heuristique donne une bonne solution pour le problème étudié, car la méthode permet de travailler avec une base très

élevée de références. L'heuristique est capable de trouver une solution de qualité avec plus de 150 000 produits Heragu et al., (2005).

Les modifications que nous apporterons à ce modèle nous permettront de minimiser simultanément le coût annuel de manutention des biens, ainsi que le coût de locations de l'espace d'entreposage. La principale extension que nous apporterons au modèle de Heragu est le facteur de saisonnalité qui n'est pas traité au sein du modèle original. Par ailleurs, nous procéderons à des analyses de scénarios afin de tenir compte de l'addition ponctuelle du nombre de magasins. Pour finir, nous étudierons les impacts de la location externe de capacité de stockage sur les besoins en espace.

Au cours de ce premier chapitre, nous avons présenté les motivations et les objectifs de cette recherche. Dans le second chapitre, nous allons détailler une revue de littérature concernant l'affectation des produits et la définition de la taille optimale d'un entrepôt.

Chapitre II : Revue de littérature

Après avoir introduit le sujet de notre recherche, nous allons maintenant parcourir la littérature existante concernant des sujets similaires. Cette revue de littérature viendra mettre l'accent dans un premier temps sur les sujets concernant la définition de la taille optimale d'un entrepôt, dans un second temps sur la politique d'affectation des produits à travers les zones de stockage d'un entrepôt.

2.1 Taille

Le nombre de ressources dont fait partie la capacité de stockage est un facteur prédominant dans l'estimation des coûts d'investissement d'un entrepôt (Rouwenhorst et al., 2000). Dès lors, le choix du terrain du fait de son coût requiert une estimation optimale des facteurs influençant l'espace nécessaire au bon fonctionnement des opérations dans le but d'éviter des situations de ruptures ou encore de sous-utilisation de la capacité (Mohsen et al., 2002). Le type de demande est alors un élément crucial afin d'atteindre une planification de l'espace de stockage en adéquation avec cette dernière. Lorsque la demande est statique, il faut déterminer un espace unique pouvant satisfaire les objectifs fixés tout en minimisant les coûts. En revanche, une demande dynamique réclame une capacité d'espace pouvant évoluer à travers le temps tout en prenant en compte une possibilité d'expansion ou d'externalisation (Cormier et al., 1992). Pour finir, il est également important de préciser que l'estimation de l'espace de stockage est susceptible de varier selon que le contrôle du niveau d'inventaire aura été décidé par l'entrepôt ou à l'externe (Gu et al., 2010).

Le but principal de notre étude est de trouver une capacité d'espace de stockage permettant d'éviter les ruptures de cette dernière. Nous nous intéresserons en premier lieu aux auteurs traitant du problème statique d'espace de stockage. Dans un second temps, nous énumérerons de façon non exhaustive les principaux textes autorisant le recours à la location d'espace public.

2.1.1 Taille optimale de l'entrepôt

Concernant les problèmes de dimensionnement de la capacité de stockage d'un entrepôt, nous pouvons tout d'abord citer Cormier et al., (1996). En utilisant une dérivée, l'auteur fut en mesure d'estimer la taille optimale d'une installation d'emmagasiner pour un seul article, opérant dans un environnement ayant une demande constante. Lors de la résolution de ce problème, la méthode employée a également permis d'évaluer la politique d'affectation donnant les meilleurs résultats. Finalement, la combinaison de ces deux objectifs apporte une baisse des coûts de construction et d'inventaire tout en se protégeant d'une possible rupture relative aux capacités d'espace. Cela est rendu possible par l'implémentation d'une contrainte dont la prise en compte oblige à répondre à l'ensemble de la demande. La résolution du scénario comprenant plusieurs produits a pu être atteinte grâce à une méthode multiplicatrice Lagrangienne exécutée à l'aide de la méthode de Newton. Goh et al., (2001), s'intéresseront également à ce type de problématique et utilisera de nouveau une dérivée aussi bien pour un seul ou N articles, ayant chacun des coûts d'inventaire propres. La solution pour des produits avec un prix d'inventaire identique a été obtenue via une heuristique. La fonction objective du modèle viendra définir la taille optimale de l'entrepôt tout en minimisant les coûts de commandes, de stockage et d'inventaire. Par la suite Huang et al., (2015) traitera du problème de taille optimale incorporant une fonction liée à la localisation de l'installation afin de réduire les coûts de transports et

d'opération totaux. Les coûts d'opération incluent les coûts fixes liés à l'installation du bâtiment et les coûts variables qui dépendent de l'espace de stockage nécessaire à l'atteinte des objectifs de niveau de service. Pour ce faire, les auteurs utiliseront une programmation linéaire en nombres entiers comprenant des contraintes veillant à ce que l'intégralité de la demande soit desservie tout en ne choisissant qu'une seule option de taille. Finalement, nous citerons Bhaskaran et al., (1990), qui se penchèrent sur la détermination de l'espace d'une zone de réserve servant de stockage tampon.

Bien que les textes ci-dessus apportent une réelle plus-value à notre étude, ils ne prennent pas en compte une partie essentielle de notre problématique, qui est la variation programmée de la demande. Les textes exposant ce type de particularité sont présentés dans la section suivante.

2.1.2 Taille avec espace public de stockage

À notre connaissance, un des premiers auteurs faisant état d'un tel problème est Hung et al., (1984), qui présente un programme linéaire définissant la taille optimale d'un entrepôt lorsqu'il fait face à de fortes activités saisonnières. Pour contrecarrer ce problème de variation de la demande, le modèle autorise le recours à la location d'espace de stockage public et permet également une évolution de la taille de l'entrepôt privé à travers le temps. La solution pour ce problème permettra l'atteinte d'une structure optimale visant à diminuer les coûts d'investissements ainsi que l'ensemble des dépenses variables qui regroupent, les coûts opérations de l'entrepôt privé et à la location d'espace public. De leur côté Rao et al., (1998), affirment que les problématiques de capacité d'espace dynamique sont des problèmes de type réseau pouvant être résolu grâce à un algorithme de flux de réseau.

(Cormier et al., 1996), étudia également ce type de problématique tout en y ajoutant des coûts liés à la politique d'affectation des produits. Le modèle proposé viendra définir la taille de l'entrepôt afin de minimiser les coûts de stockage et de politique d'affectation dans un environnement présentant une demande constante sur un large éventail de produits. Les résultats obtenus démontrent que la location d'espace public permet de donner plus de flexibilité aux entreprises en augmentant la taille de lot optimale et ainsi diminuer la taille optimale d'espace de stockage. Par la suite Lee et al., (2001), obtiennent grâce à l'aide d'algorithmes, la taille optimale d'une installation permettant de minimiser les coûts de détentions et de location d'espace d'emmagasiner. Une fois la capacité du centre de distribution définie, il sera possible de répondre aux besoins en accord avec un certain niveau de service et ainsi éviter les situations de rupture de stock. Pour finir Gill et al., (2009), développèrent un modèle de programmation linéaire afin de déterminer la proportion d'espace qu'il est préférable de posséder en privé pour les articles ayant une demande stable et en espace public pour la marchandise dont la demande est instable. La fonction objective de ce problème va minimiser dans un premier temps les dépenses liées à la possession de l'entrepôt qui se résume aux coûts d'investissement et aux coûts variables émanant des activités opérationnelles. Dans un second temps, la fonction va diminuer les coûts provenant de la location en espace public de stockage. Finalement, nous parviendrons à un arbitrage qui consentira à minimiser la location d'espaces publics et qui par la même occasion admettra d'atteindre un taux d'occupation de l'espace évitant les situations de sous-utilisation des capacités. Au vu de la littérature, nous pouvons affirmer que la location d'espace public est une solution pouvant être économiquement viable afin de gérer la saisonnalité ou les variations diverses de la demande.

Plusieurs auteurs, dont Ashayeri et al., (1985), Rouwenhorst et al., (2000) et Rowley et al., (2000) s'accordent à dire qu'il existe peu de littérature traitant les problématiques la taille de l'entrepôt et que nombre de sujets potentiels n'ont pas encore été couverts.

Lors de la revue des textes ci-dessus, certains auteurs ont inclus la politique d'affectation de la marchandise aux problèmes de décisions d'espace. En effet Mohsen et al., (2002), stipule que la politique d'opération est un facteur influençant l'estimation de la taille optimale de l'entrepôt. C'est donc pour cette raison que nous allons à présent porter notre attention sur les textes traitant de la politique d'affectation.

2.2 Politiques d'affectation

Si nous devons vulgariser la définition de la stratégie d'attribution des marchandises, nous pourrions évoquer une méthode permettant de déterminer l'emplacement des produits dans les différentes zones de stockage de l'entrepôt (Van den Berg et al., 1996). Cette attribution doit cependant permettre l'atteinte de résultats optimaux concernant un certain nombre de mesures de performance (Kovács et al., 2011). Le but de cette démarche étant de réduire les coûts en matériel d'entreposage ainsi que l'amélioration de l'utilisation de l'espace (Gu et al., 2007). En effet, le choix de la méthode de placement des produits va définir le montant d'espace de stockage nécessaire et viendra par la même occasion influencer le niveau de stock. (Lee et al., 2005) Il est donc primordial que l'attribution des produits permette dans un premier temps d'utiliser le minimum d'espace de stockage possible, ainsi que de diminuer les déplacements totaux (Hsieh et al., 2006).

Après avoir détaillé brièvement certaines stratégies d'affectation de la marchandise dans le chapitre 1, nous allons pencher sur la littérature existante à ce sujet. Nous nous attarderons plus précisément sur les articles dont le but recherché par l'affectation des produits est l'optimisation de l'espace de stockage.

2.2.1 Le problème de l'affectation des produits

Les recherches concernant les politiques d'affectation de la marchandise remontent au début de l'automatisation des entrepôts, qui se sont tournés de plus en plus vers des systèmes de contrôle informatisés des transstockeurs STD¹. En effet, cette technologie, bien qu'étant onéreuse, présente de nombreux avantages, par exemple, une baisse des coûts de main-d'œuvre, une meilleure utilisation de l'espace ou encore un meilleur contrôle de l'inventaire. Dans le but d'atteindre une meilleure planification et configuration possible de ces systèmes, une étude comparant trois politiques d'affectation a été menée afin de déterminer laquelle il est préférable d'utiliser en termes de résultat opérationnel. Ces trois politiques sont : (1) l'Assignment aléatoire (2) l'Assignment basée sur le chiffre d'affaires et (3) Assignment par classe. Il est important de préciser que cette recherche part du postulat selon lequel, la taille de toutes les cellules de stockage est identique et que chaque palette ne contient qu'une référence de produit. En fin de compte, il est montré que la politique d'assignation basée sur le chiffre d'affaires soit la plus efficace au niveau du temps de trajet de la grue. Au regard de notre étude, ce texte présente une plus-value qui réside dans le fait que cette politique, sous certaines conditions, peut apporter un arbitrage d'une qualité accrue entre la capacité de débit et les capacités de stockage par rapport à la taille et au nombre de racks (Hausman et al., 1976).

¹ STD : Stacker crane

Cette première étude laisse envisager que la politique optimale d'affectation de la marchandise pourrait parallèlement à l'amélioration des performances de cueillette avoir un impact positif sur l'espace de stockage. C'est ce que démontrent Goyal et al., (1978), qui étudie la possibilité de créer des groupes de produits lorsqu'interviennent des restrictions de capacités concernant les investissements d'inventaire et l'espace de stockage d'un centre de distribution. En effet, l'auteur met en pratique une heuristique créée par Page et al., (1976), prenant en compte les limites exposées ci-dessus pour un produit donné dans un inventaire possédant un grand nombre de références. Si lors de la résolution du problème, le montant maximum de ressources nécessaire est supérieur aux limites qui ont été fixées alors, la politique d'inventaire optimale est atteinte grâce à un multiplicateur Lagrangien. En conclusion, il est possible de réduire les besoins en ressources en autorisant un produit à appartenir à plusieurs classes d'allocation en même temps.

Dans la même veine, Van den Berg et al., (1996) sont capables de trouver l'espace de stockage nécessaire grâce à un algorithme de programmation dynamique efficace, qui a pour but de déterminer des classes de produit permettant de minimiser le temps moyen de commande dans un entrepôt utilisant une politique d'assignation par classe. L'algorithme est ainsi capable de déterminer les besoins d'espace en imposant un facteur de risque concernant la possible saturation des inventaires. Afin de résoudre ce problème, l'auteur considère que les activités de stockages et de cueillette font partie d'un cycle de commande unique. L'auteur soutient que cet algorithme peut être adapté pour un grand nombre d'entrepôts. Malmberg et al., (1996) de leur côté, exposent un modèle permettant de faire des arbitrages entre l'espace de stockage nécessaire et l'efficacité des déplacements en comparant les politiques d'assignation dédiée et aléatoire. Le modèle utilise une courbe de demande ABC où 10% des produits stockés sont responsables de 90% des déplacements. Par la suite, il viendra calculer les coûts de déplacements

en inter changeant les positions de chacun des produits à travers les différentes allées de stockages en utilisant le COI. Bien évidemment lors de la répartition des produits, les limitations d'espace viendront avoir une influence sur la formation des classes, ce qui ne permet donc pas de garantir l'atteinte d'un résultat optimal. Le résultat de cette étude démontre une meilleure performance de la politique aléatoire concernant les besoins en espace.

Pour finir, Birem (2016), propose une méthode appliquée à un cas réel afin d'étudier les économies réalisables que la reconfiguration saisonnière des zones de stockages d'un centre de distribution pourrait apporter. Les résultats de cette recherche mettent en avant que la reconfiguration saisonnière est économiquement viable. Cette recherche diffère de l'étude ici présentée en plusieurs points. Tout d'abord, nous ne considérons pas la reconfiguration de zone au sein d'une installation afin de réagir à la saisonnalité de la demande. Nous avons choisi l'autorisation à l'entreposage externe afin de contrer la saisonnalité de la demande. Par la suite, notre étude porte sur l'ensemble d'un entrepôt alors que l'auteur se concentre principalement sur la zone avancée. Cependant, étudier l'impact de la reconfiguration de la zone avancée pourrait être une extension extrêmement intéressante à notre étude.

Les textes cités ci-dessus insistent sur l'impact de la politique d'affectation sur l'utilisation de l'espace de stockage et sur l'optimisation des temps de trajet qui constitue l'un des postes de dépenses les plus importants des coûts de cueillettes. Cependant, ces textes ne font pas mention de l'impact que pourraient avoir ces politiques sur les coûts de stockages. Or, cette problématique est d'une importance cruciale au regard des objectifs de notre étude.

2.2.2 Le problème des coûts de stockage

Ce type de problématique fût dans un premier temps étudié par (Rosenblatt, 1984), qui mit au point une procédure permettant d'obtenir la configuration optimale d'un centre de distribution. La formulation du problème tient compte des critères suivants : (1) les coûts liés à l'investissement initial par exemple les coûts de constructions (2) les coûts de stockage et (3) les coûts liés au choix d'une politique d'affectation. La procédure informatique exécutée en douze étapes va simultanément répondre aux problématiques suivantes à savoir, la taille de l'entrepôt, la configuration interne et la stratégie d'affectation de la marchandise.

Plus tard Muppani et al., (2006), créent un modèle prenant en compte l'effet que pourrait avoir la réduction de l'espace de stockage nécessaire, sur la cueillette des commandes et sur les coûts d'espace de stockage. En utilisant une fusion heuristique de tri (Merge-Sort heuristic), il est donc possible de classer les produits de façon à pouvoir minimiser le coût total des espaces de stockage et de cueillette. Cette méthode offre également la possibilité de travailler avec un large éventail de données. En continuation de ce problème (Muppani et al., 2008), à l'aide d'un modèle de programmation entière non linéaire, étudie une nouvelle fois les répercussions de la diminution de surfaces d'entreposage sur les coûts d'espace de stockage. La nouveauté de ce problème réside dans le fait que ce modèle tient également compte des coûts de matériel de manutentions. Le modèle de formation et d'allocation de classe a pour fonction objective de minimiser la somme des deux coûts citée auparavant, à savoir les coûts d'espace de stockage et de matériel de manutention. Cette étude vient apporter des indications aux managers sur les économies que la politique d'affectation basée sur les classes peut amener comparativement aux aléatoire et dédiée. Ces économies englobent : (1) les coûts d'opportunités qu'une meilleure utilisation de l'espace pourrait apporter (2) une économie très importante d'espace de stockage

qui peut être réalisé selon le prix du mètre carré. Par la suite Muppani et al., (2008), critiquent l'approche de création des classes d'affectation de produit via le COI² en soutenant que l'utilisation d'un tel facteur peut amener une solution de qualité inférieure due aux restrictions relatives aux combinaisons de produits. Pour soutenir son propos, l'auteur vient créer un « *Simulated Annealing Algorithm* » (SAA), mais cela sans tenir compte des limitations du mouvement cubique des produits afin de former des classes de stockage dont la planification des inventaires est complémentaire. Les classes de produits viendront minimiser les coûts d'espace de stockage ainsi que les coûts de cueillette des commandes. Le SAA apporte des résultats de bonne qualité, et permet la création de zones de stockage moins volumineuses.

Le problème concernant la réduction des espaces nécessaires de stockage est également abordé avec Geraldès et al., (2008). L'auteur met en application le modèle développé par Heragu et al., (2005), dans le but de trouver l'affectation des produits ainsi que la taille des zones de stockage afin de minimiser les coûts de manutention et de stockage. L'application du modèle sur un entrepôt d'une entreprise réelle a permis une diminution de l'ordre de 40% des besoins en ressources d'espace de stockage.

2.2.3 Le modèle d'Heragu

Le but de l'heuristique d'Heragu et al., (2005) est de définir la taille de chacune des zones d'entreposage d'une installation, ceci grâce à l'optimisation de l'assignation des produits à travers ces dernières. Cette assignation des produits à travers les zones a pour objectif de minimiser les coûts totaux de manutention de stockages. L'auteur dans sa recherche considère quatre types de flux présentés de manière suivante.

² COI : Cube-per-order index

Graphique 2 : Types de flux

S. S. Heragu et al.

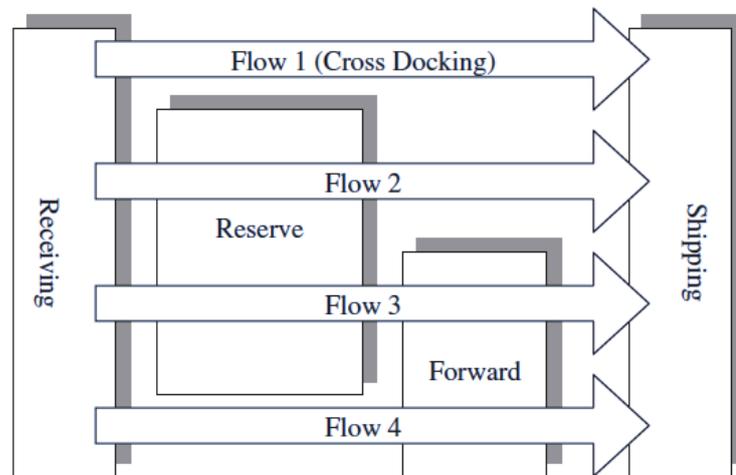


Figure 1. Typical product flows in a warehouse.

Il est important de préciser que dans le flux 3 les palettes des produits sont tout d'abord stockées telles quelles en zone Reserve et seront par la suite divisées en charge plus petite et envoyé vers la zone Forward. Dans notre étude nous ne pouvons pas tenir compte d'un tel type de flux, car nous ne possédons pas les informations concernant p_i qui est la moyenne en pourcentage de temps qu'une charge de produit i passe dans la zone Reserve si le produit est assigné au flux 3.

La minimisation des coûts totaux viendra s'effectuer grâce à une variable binaire choisissant l'assignation des produits, selon leurs coûts de manutention et de stockage. Le modèle contient également plusieurs contraintes afin de s'assurer que les produits ne peuvent être stockés qu'à un seul type de flux. D'autres contraintes viendront garantir que les capacités d'espace de chacune des zones de stockages soient respectées, que la totalité de l'espace disponible soit allouée à ces dernières et que chaque produit soit assigné à une zone de stockage.

Notre recherche bien que s'inspirant du modèle réalisé par Heragu et al., (2005), viendra se différencier en plusieurs points. Tout d'abord, notre étude sera appliquée à une entreprise utilisant des données réelles. De plus, contrairement au modèle présenté par l'auteur, nous disposerons d'une demande dynamique avec deux pics de saisonnalité amenant au recours de l'entreposage au sein d'une installation externe. C'est points de différenciation viennent justifier l'utilité de ce mémoire.

Chapitre III : Mise en contexte

À la suite de l'exposition des recherches précédentes pour ce type de problématique, il est important d'expliquer le contexte dans lequel évolue l'entreprise étudiée. Ce dernier viendra justifier la contribution que le modèle développé apporte aux recherches ci-dessus. En effet, la nécessité de trouver la taille des zones d'entreposage, l'affectation des produits ainsi que le recours à l'espace de stockage externe est motivée par des facteurs internes et externes à l'entreprise qui seront présentés dans cette section.

3.1 Les opérations actuelles

Afin de mener à bien ses opérations logistiques, l'entreprise sur laquelle porte notre étude dispose actuellement de deux entrepôts situés dans la région de Taoyuan au nord du pays. Cependant, la capacité en termes d'espace de ces deux entrepôts n'est pas suffisante, pour faire face aux besoins de stockage durant les pics de saisonnalités. Cette restriction de capacité contraint donc l'entreprise à louer de l'espace d'entreposage supplémentaire qui engendre des répercussions importantes en termes de coût de transport et de location d'espace supplémentaire. Étant donnée la situation actuelle, l'entreprise a choisi d'étudier la possibilité de déménager dans un nouvel entrepôt plus grand. L'objectif principal de cette démarche serait d'optimiser les dépenses concernant la location d'espace de stockage supplémentaire.

Ces entrepôts sont loués auprès d'une entreprise 3PL qui s'occupe également de la gestion journalière des opérations; comme le stockage, la manutention des marchandises ainsi que l'envoi de ces derniers à travers les différents magasins. Ces magasins sont découpés en trois catégories selon leurs surfaces de vente et ce compte dans la région étudiée au nombre de ;

- 32 Hypermarchés : Moyenne annuelle de palettes réceptionnées par magasin 15 267
- 5 Supermarchés : Moyenne annuelle de palettes réceptionnées par magasin 809
- 4 Mini-Hypermarchés : Moyenne annuelle de palettes réceptionnées par magasin 918

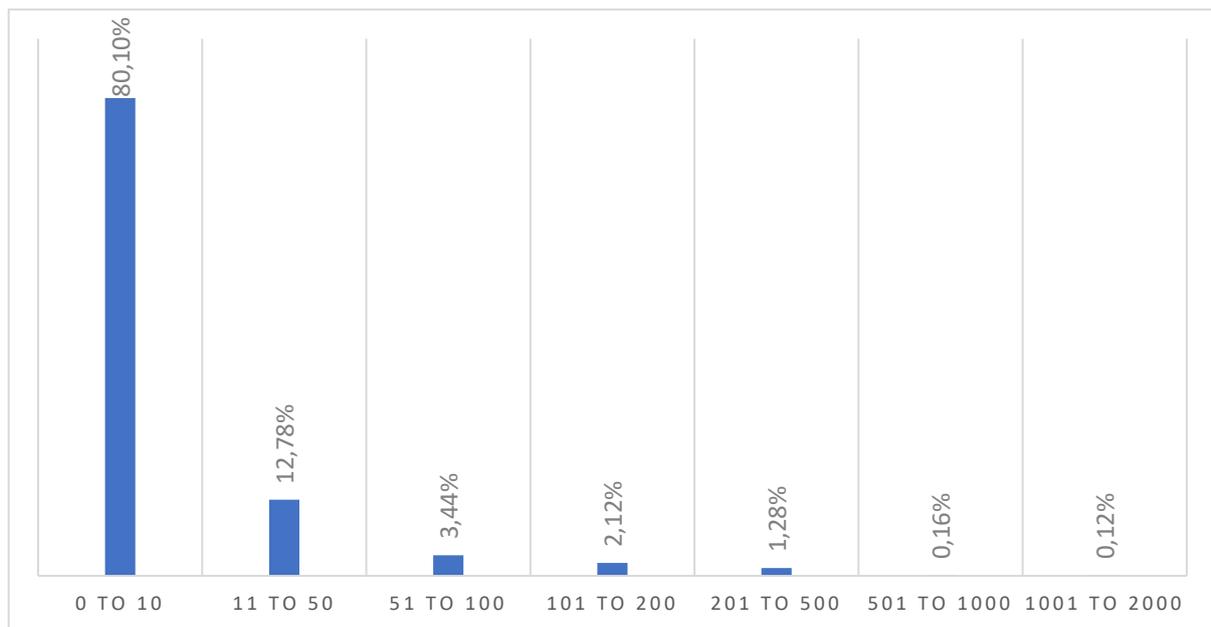
Ceci donne donc lieu à un grand nombre d'opérations logistiques transitant par les deux entrepôts étudiés. Lors de l'analyse des données fournies par l'entreprise, nous avons pu constater :

- Plus de 45 000 SKU transitent au cours de l'année civile via les deux entrepôts actuels. Pour les besoins de cette recherche, nous avons ramené le nombre de produits à 2497 classes de produits. Cette démarche sera expliquée au Chapitre 5 (page 44).
- 1 681 567 lignes de commandes concernant les opérations intrants soit une moyenne de 140 131 lignes de commandes par mois sur l'année.
- 14 051 161 lignes de commandes pour les opérations sortantes soit une moyenne mensuelle de 1 170 930 lignes de commandes.
- 496 269 palettes entrent par les entrepôts

Au regard du Graphique 3, présenté ci-dessous, nous pouvons nous rendre compte que la plupart des catégories de produits, transitant via les deux entrepôts, ont au cours de l'année un volume mensuel moyen très faible en termes de quantité de palettes. Ceci peut être expliqué par

la stratégie de l'entreprise qui est d'offrir une gamme de produits très importante, afin qu'un client puisse trouver l'ensemble des produits dont il a la nécessité au même endroit. Se distinguant donc de distributeurs concurrents qui offrent une gamme moins large, mais qui pourront baisser leurs prix de vente avec l'effet du volume.

Graphique 3 : pourcentage de classe de produits par volume mensuel moyen de palettes entrantes



Aujourd'hui, si nous additionnons l'espace total d'entreposage des deux entrepôts nous disposerions de 36 291 mètres carrés d'entreposage distribué de la manière suivante ;

- **Reserve** : 21 946 mètres carrés
 - 51% de la zone avec espace en hauteur de 5 palettes
 - 27% de la zone avec espace en hauteur de 4 palettes
 - 22% de la zone avec espace en hauteur de 3 palettes
- **Forward** : 3 424 mètres carrés (espace en hauteur 1 palette)
- **Cross Docking** : 10 992 mètres carrés (espace en hauteur 1)

En cumulant l'espace de stockage au sol ainsi que celui en hauteur, les deux entrepôts offrent une capacité de stockage de 23 897 palettes. Cependant, la capacité d'espace de stockage de ces deux entrepôts n'est pas suffisante pour faire face aux besoins durant les pics de saisonnalités contraignant l'entreprise à louer de l'espace d'entreposage supplémentaire.

Tableau 1 : Estimation des coûts de location en million de NTD (New Taiwan Dollar)

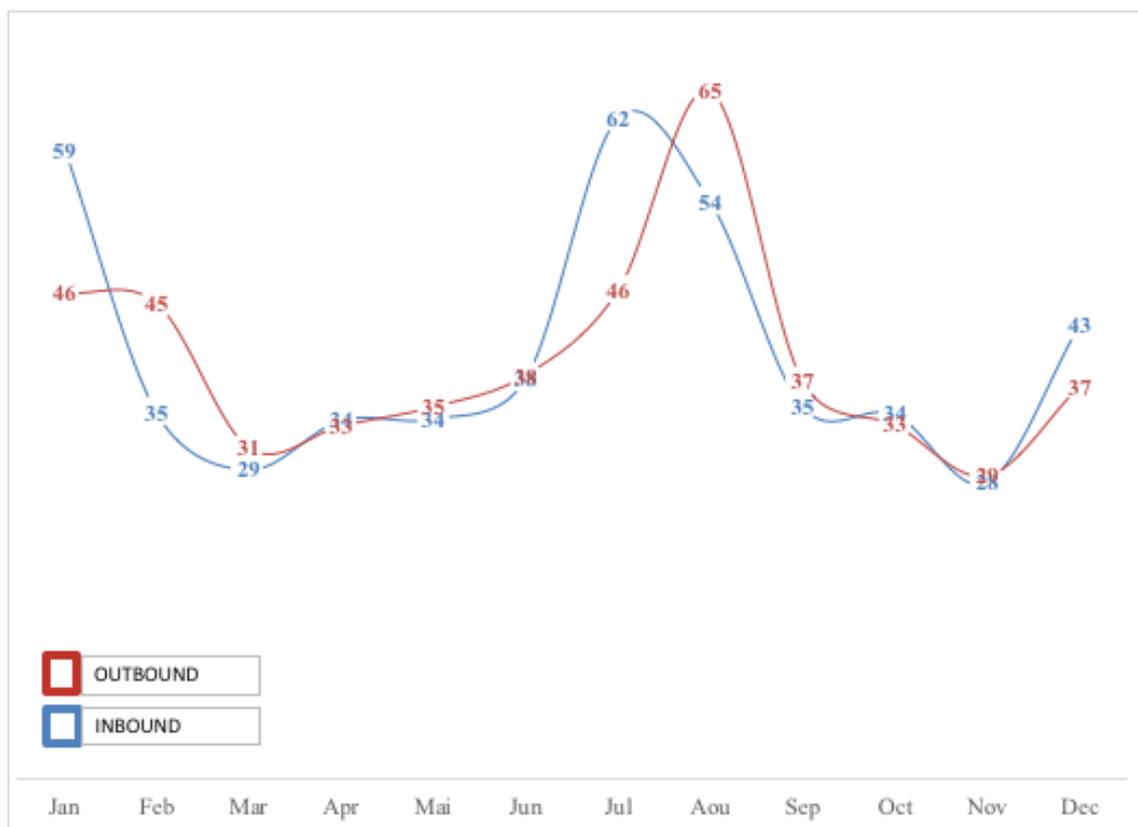
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Ent Privé	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01
Ent Externe	3,20	3,20					3,20	3,20				
Total	8,21	8,21	5,01	5,01	5,01	5,01	8,21	8,21	5,01	5,01	5,01	5,01

La location d'espace supplémentaire est problématique pour plusieurs raisons, premièrement financièrement, l'excédent d'espace nécessaire représente un coût de 17,55% des dépenses de location annuelles d'entreposage. Deuxièmement, les contraintes opérationnelles et administratives liées à l'organisation du transport, au suivi du stock ainsi qu'à la baisse d'offre de stockage public résultant des nouvelles normes taïwanaises concernant les entrepôts. Il est important de préciser ici que le prix du loyer est une estimation calculée grâce aux données fournies par l'entreprise. Il inclut seulement l'espace net de stockage et exclut les coûts de locations du terrain, des docks ou encore des bureaux. Nous avons choisi de procéder de la sorte afin de faciliter la comparaison des coûts entre les scénarios et la situation actuelle.

Pour faire face à ces différents défis, l'entreprise a donc choisi de déménager dans un nouvel entrepôt plus grand. L'objectif principal de cette démarche serait de faciliter les opérations. Cependant, un changement de cette envergure ne sera accepté par le comité exécutif de l'entreprise que si les coûts de locations et d'opérations du nouvel entrepôt demeurent sensiblement égaux à ceux encourus actuellement. L'entreprise continuera de faire affaire avec

une entreprise 3PL qui sera chargée de proposer un entrepôt déjà existant, ou d'en construire un nouveau. Cependant, il ne faut pas oublier que malgré les complications actuelles concernant la capacité de stockage, l'entreprise a pour objectif d'ouvrir 34 nouveaux magasins sur un horizon de 3 à 5 ans, venant donc renforcer la nécessité de disposer de capacité d'entreposage supplémentaire. Après avoir décrit la situation de l'entreprise, il est intéressant de se pencher de manière plus précise sur la dynamique des stocks de cette dernière.

Graphique 4 : Flux en millier palettes années 2015

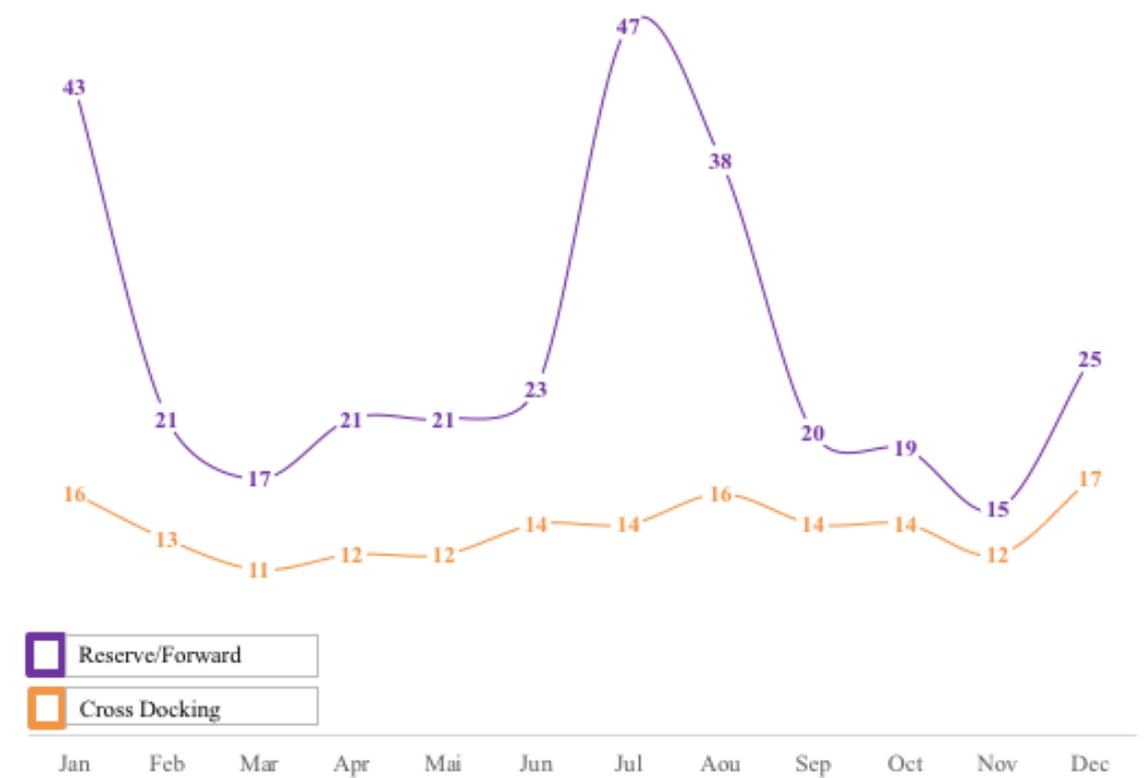


Dans le graphique 4 présenté ci-dessus, nous pouvons clairement identifier les deux pics de saisonnalités mentionnées par la direction de l'entreprise. Tout d'abord, il est à noter que pour la période étudiée le total des flux pour ce qui est de la marchandise entrante atteint 496 269 palettes. Le total des flux sortants est lui de 475 236 palettes. Les trois mois durant lesquels

les pics de demande interviennent représentent 36 % du total des opérations pour ce qui est du flux entrant et 33 % du total des opérations concernant les flux sortants.

En observant avec plus de détails la composition des flux de marchandises selon le type d'entreposage qu'il soit Reserve ou Cross Docking (graphique 5), nous nous rendons compte que la cause de la saturation des entrepôts provient principalement de l'entreposage de la marchandise situé dans la zone Reserve, absorbant la saisonnalité des activités. Ceci est expliqué par le fait que l'entreprise dans le but de répondre aux variations de la demande construit ses stocks sur les périodes précédant la hausse des activités. Le mois de janvier dans le graphique 1 met bien ce point en exergue avec environ 59 000 palettes entrantes pour seulement 46 000 sortantes, ce qui fait un écart de 13 000 palettes.

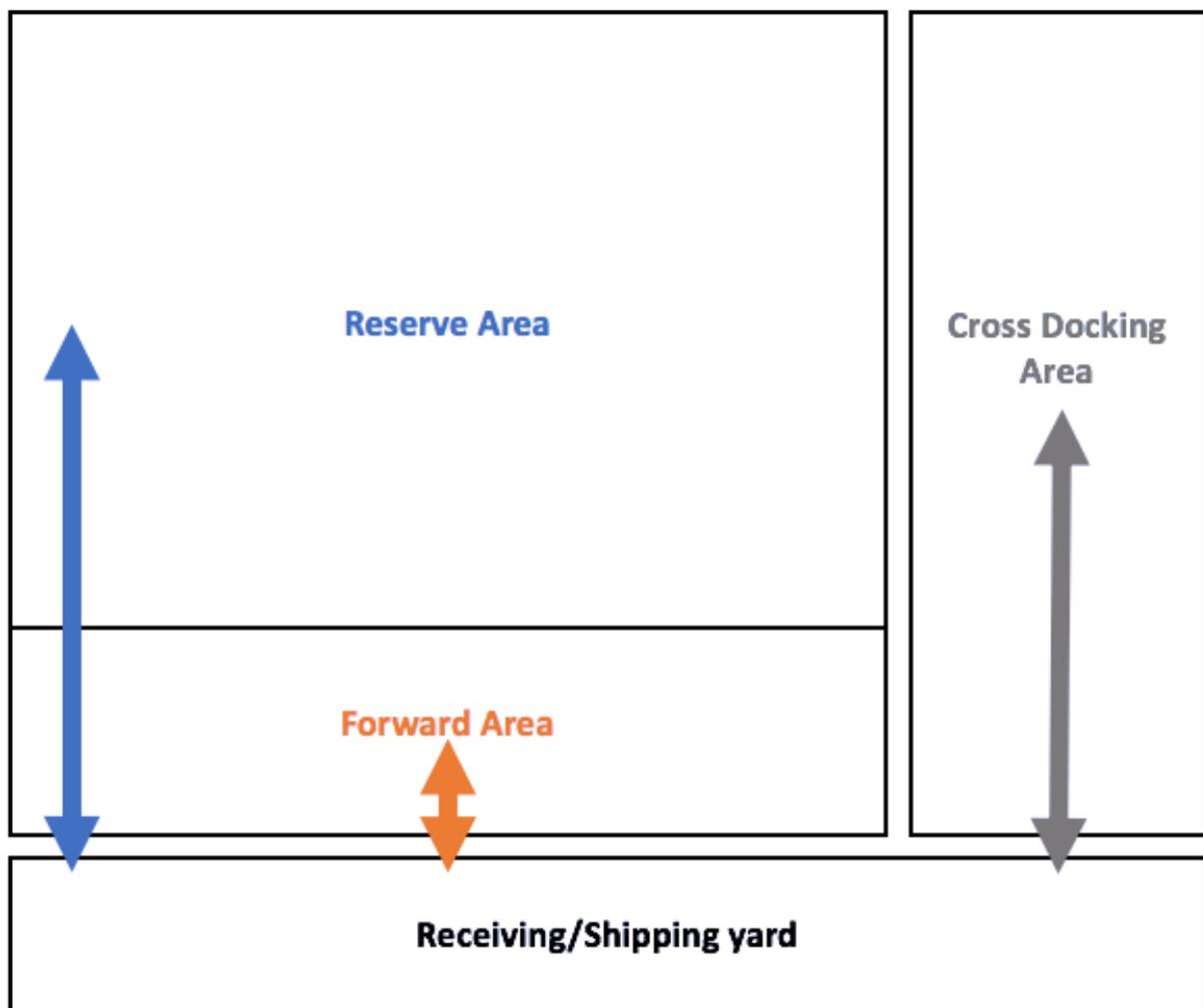
Graphique 5 : Flux en millier de palettes par types d'opérations



3.2 Le futur entrepôt

Pour ce qui est du futur entrepôt, nous nous sommes permis d'émettre certaines hypothèses quant à l'organisation des zones de stockage (Graphique 6 est une organisation possible). Effectivement, notre modèle viendra s'appliquer à un entrepôt déjà existant ou prévu d'être construit. Ce qui permettra à l'entreprise une aide dans sa prise de décision, en lui donnant la meilleure affectation possible des produits tout en lui permettant de connaître les implications évoquant une saturation éventuelle de l'espace.

Graphique 6 : Exemple d'organisation des zones de stockages



Dans notre analyse de scénario, nous avons choisi d'utiliser le même quai afin d'effectuer la réception et l'envoi de la marchandise, afin de respecter les opérations actuelles

de l'entreprise. Nous aurions pu séparer les quais de réception et expédition sans que cela soit d'un grand impact sur le modèle.

3.3 Spécificité Taïwan

Il est également important de préciser qu'à Taïwan les structures des coûts sont très différentes de ce qu'on peut trouver au Canada. Premier exemple, le salaire annuel d'un travailleur taïwanais exerçant dans un entrepôt est approximativement de 12 000 CAD. Autre différence majeure, le coût du mètre carré. Taïwan étant un pays de 300km de long pour 50km de large, avec au milieu une montagne rendant inhabitable une grande partie du territoire avec une densité de population importante, l'espace disponible est très restreint ce qui vient augmenter drastiquement le prix du mètre carré.

Cette structure de coût laisse supposer que le modèle viendra en priorité chercher l'espace où il est possible de stocker le plus de palettes au mètre carré. C'est-à-dire une zone permettant de stocker les palettes en hauteur.

Chapitre IV : Le modèle

Suite à la compréhension du contexte de l'entreprise, nous avons pu développer avec l'approbation du directeur logistique un modèle présenté dans ce chapitre ayant pour fonction objective la minimisation des coûts d'opération totaux incluant l'utilisation saisonnière d'espace d'entreposage externe. Comme nous l'avons mentionné dans la section 3.1 le recours à l'entreposage représente un coup de location supplémentaire de 17,55 %, ce qui en fait donc un point crucial de lors de la définition de la fonction objective. Dans la pratique, cette minimisation du coût total interviendra grâce à une détermination tactique de l'allocation de l'espace de stockage à travers les différentes zones, qui sera choisie selon le mouvement des produits à travers l'entrepôt et l'affectation de ces derniers à chaque type de zones d'entreposage. Ces décisions concernant l'affectation des produits à un type de zone de stockage viendront être mises en application au sein du « Warehouse Management System³ » et resteront fixes tout au long de l'année afin d'assurer une stabilité dans les opérations internes de l'installation. Les trois types de flux présent dans l'entrepôt seront :

- Flux 1 Cross Docking : Réception ➡ Cross Docking ➡ Envoi
- Flux 2 Reserve : Réception ➡ Reserve ➡ Envoi
- Flux 3 Forward : Réception ➡ Forward ➡ Envoi

4.1 Extension du modèle d'Heragu

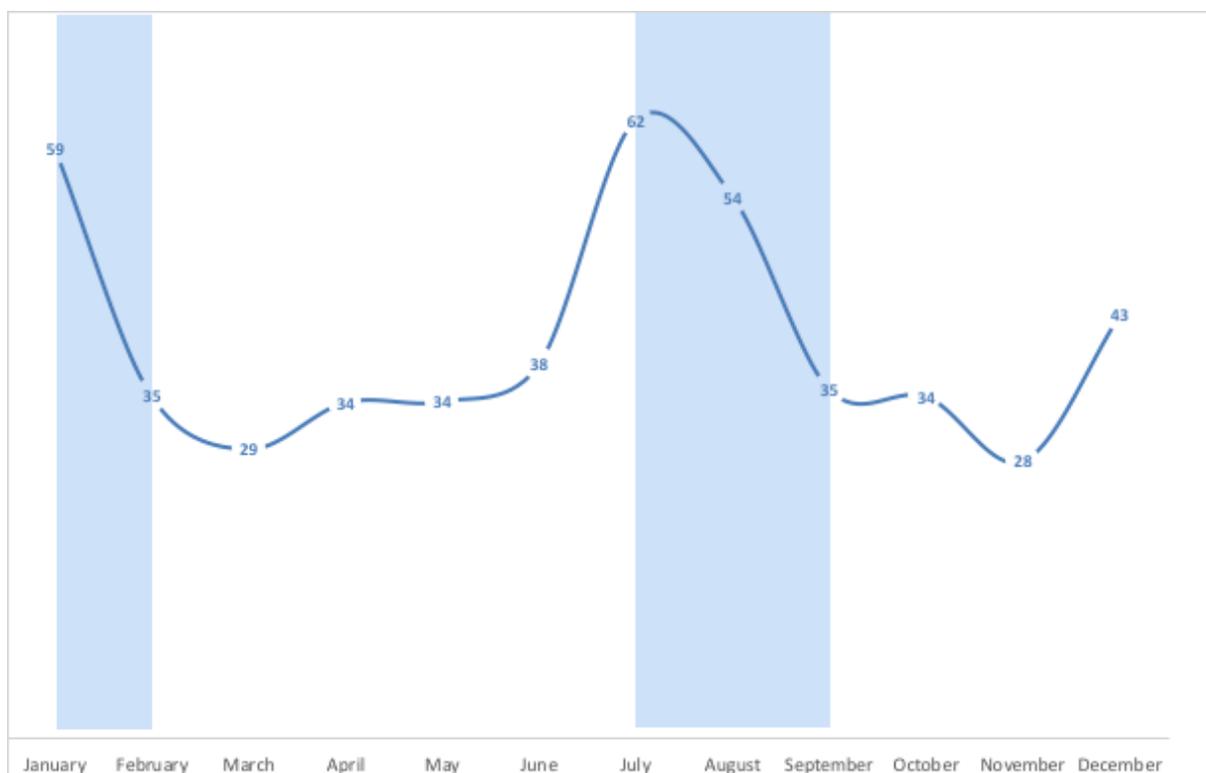
Lors de nos recherches préliminaires quant à la résolution du problème proposé par l'entreprise, l'article présenté par Heragu nous a semblé être un point de départ intéressant. Le

³ Warehouse Management System (WMS) ou Système de gestion d'entreposage

modèle proposé par ce dernier vient définir la taille optimale de chacune des zones de stockage, pouvant contenir un entrepôt, tout en minimisant les coûts d'entreposage et de manutentions. La solution atteinte à l'aide de la fonction objective va permettre d'affecter chacun des produits à travers les différentes zones d'entreposage, afin de respecter les contraintes d'espaces liées à la capacité de l'installation. Est pris en compte dans le respect de la capacité d'espace, l'espace de stockage en hauteur, ainsi que le temps d'arrêt d'un produit i dans l'installation, que nous avons appelée dans cette recherche cycle d'inventaire.

Ce cycle d'inventaire est la première modification que nous avons proposée au modèle de base. Cette méthode ne peut pas convenir au cadre de l'entreprise étudiée, du fait de la composition de sa demande, qui connaît deux pics saisonniers, comme le démontre le graphique ci-dessous.

Graphique 7 : Marchandise entrante en millier d'unités de palette



En effet, dans son article Heragu utilise une « *Quantité économique de Commandes* », afin d'estimer ce paramètre. La *QEC*, pour être déterminée, utilise la demande annuelle ce qui va permettre de prendre connaissance du temps moyen qu'un produit *i* va passer dans le système. Or, notre demande étant dynamique, nous ne pouvons pas procéder de la sorte.

Ayant connaissance de ce fait, nous avons pensé que la Loi de Little serait une méthode plus adaptée à notre problématique. De façon vulgarisée, la loi de Little permet l'obtention du temps et du nombre moyen d'attentes des produits dans un système de service. Dans notre cas, le service fourni est la livraison de produits aux distributeurs et le temps d'attente est causé par l'entreposage des produits aux deux entrepôts. Le calcul étant le suivant :

$$L = \lambda W$$

- L* Nombre moyen d'unités de produit dans le système
- λ Nombre moyen d'unités de produit arrivant dans le système par unité de temps
- W* Temps d'attente moyen dans le système pour un certain produit

Nous inspirant de cette formule dans le modèle nous utiliserons le calcul suivant :

$$I_i^q D_i^q = L_i^q$$

- I_i^q Couverture d'inventaire mensuel de produits *i* pour la période *q*
- D_i^q Demande en palette de produit *i* pour la période *q*
- L_i^q Nombre moyen d'unités de produit *i* pour la période *q* dans le système

De cette façon, nous serons en mesure de savoir combien de palettes de produit i sont en attente pour chacune des périodes mensuelles q dans le système, ce qui nous permettra de calculer les besoins en espace de chacune des zones d'entreposage.

Il est également important de préciser que l'utilisation de la couverture d'inventaire mensuel comparativement à la QEC a un impact sur la définition des coûts de manutention H_{ij} . Effectivement, nous avons ici choisi de calculer le prix de manutention par unité de palette et non pas par lot. Finalement, nous pourrions obtenir le coût H_{ij} de déplacer une palette selon la zone d'entreposage j de la façon suivante ;

$$H_{ij} = \frac{LC}{LP_j} + AM_j$$

H_{ij} Coût de manutention par palette pour une unité de produit i dans le type de flux j

LC Coût de main-d'oeuvre horaire

LP_j Nombre de palettes stockées par heure par types de flux j

AM_j Coût d'amortissement par mois des chariots par palette par types de flux j

Le paramètre LP_j a été estimé avec l'entreprise par rapport avec la moyenne de palettes déplacée par les employés de l'entrepôt par heure. Une autre façon de procéder aurait été de le calculer de la manière suivante ;

$$LP_j = 1 / \left(\frac{DT_j}{SP} + LUT_j \right)$$

DT_j Distance moyenne parcourue par chariot pour chaque type de flux j

SP Vitesse du chariot

LUT_j Temps de chargement et déchargement pour stocker une palette pour chaque type de flux j

Le paramètre AM_j , est quant à lui calculé de la manière suivante ;

$$AM_j = \left(\frac{HM_j}{LP_j \times WH \times WD^q} \right)$$

WH Heures travaillées par jours par un employé

WD^q Nombre de jours de travail pour le mois de la période q

HM_j Amortissement du chariot pour chaque type de flux j

L'utilisation de la couverture d'inventaire mensuel, pour chacune des périodes q nous a poussés à également apporter d'autres modifications au modèle proposé, quant à la définition de la taille des zones de stockage j . Dans la méthode de Heragu, la taille optimale de l'entrepôt est obtenue si pour chacune des zones j , la limite d'espace est supérieure à l'affectation de l'espace disponible nécessaire au stockage des catégories de produits.

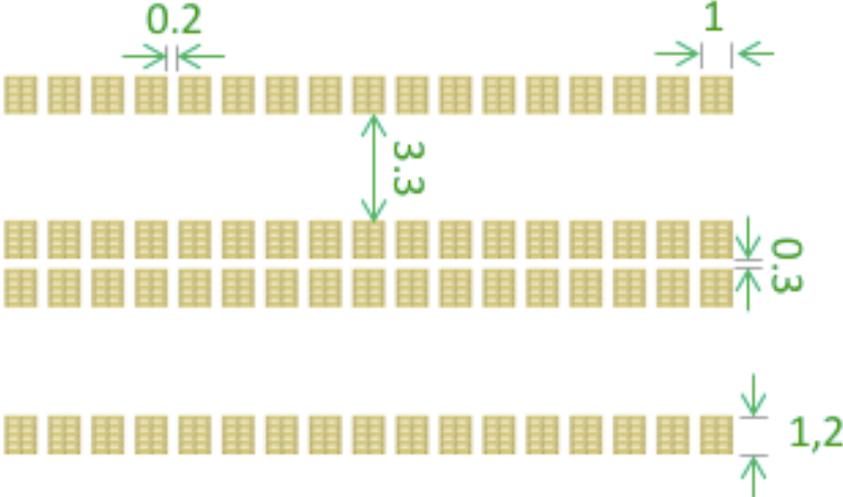
Notre approche diverge premièrement, car dans le modèle de Heragu les besoins en espace sont les mêmes sur l'ensemble de l'année alors que dans notre cas, du fait de la saisonnalité, l'entreprise étudiée aura des besoins en espace qui varieront tout au long de l'année. Cependant nous devons définir une taille optimale répondant aux besoins en capacité pour l'ensemble des périodes.

Une autre modification importante apportée à la fonction objective du modèle et toujours en rapport avec les pics de saisonnalités, est le recours à l'espace d'entreposage

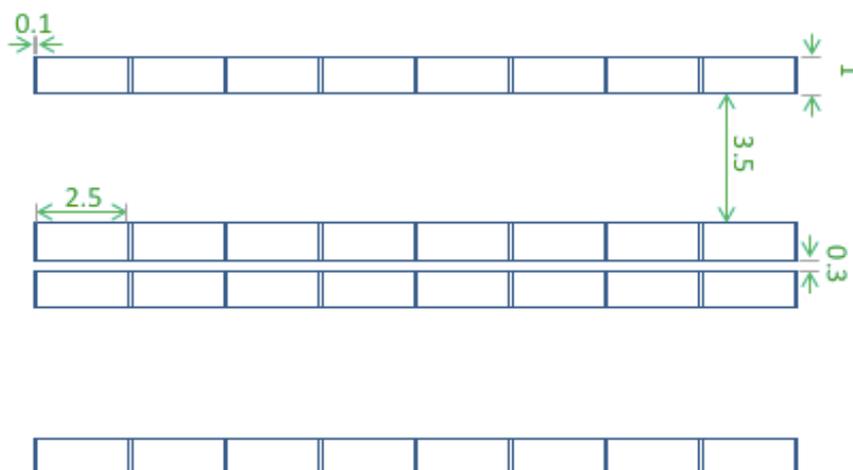
externe. Comme nous avons pu le voir dans le graphique 3 (Section 3.1), les variations de la demande sont très importantes à deux périodes précises de l'année. C'est pour cela que l'entreprise est dans la nécessité de louer un entrepôt supplémentaire afin de stocker l'ensemble de sa marchandise. Ceci est un élément important dont nous avons dû tenir compte lors de la réalisation de notre problème. Pour ce faire, nous avons incorporé une variable e_j^q qui viendra déterminer la somme d'espace externe supplémentaire à louer selon les périodes de l'année. De plus, nous avons également ajouté une seconde variable y^q qui va enclencher un coût fixe mensuel de location pour l'espace supplémentaire, car l'entreprise en pratique lorsqu'elle loue de l'espace supplémentaire, n'a pas d'autre choix de louer l'installation dans son ensemble.

Un autre point à aborder concerne les besoins en espace et la distinction en termes de besoin de capacité pour une palette selon son type de flux j . Une palette selon son type de flux utilisera un matériel de stockage différent ce qui aura un impact sur sa consommation en termes d'espace au sol. À cela, il faut ne pas oublier de rajouter une marge de 10% d'espace pour les allées transversales de chaque zone. Ce point prend son sens du fait que les coûts de consommation d'espace sont calculés grâce au prix du mètre carré. (Voir graphique 8 & 9).

Graphique 8 : Consommation d'espace (S_j) par palette zone Cross Docking (mètre)



Graphique 9 : Consommation d'espace (S_j) pour deux palettes zone Reserve et Forward (mètre)



Bien évidemment, il est important de préciser que la capacité de stockage en hauteur sera amenée à varier selon la zone de stockage.

En dernier lieu, il nous faut préciser que le modèle ne tiendra pas compte du coût pondéré du capital, incluant les coûts d'immobilisations. La politique de confidentialité de l'entreprise ne nous a pas permis l'accès aux données concernant la valeur du stock et du coup pondéré du capital espéré de l'entreprise.

4.2 Formulation du problème

Suite à la description du calcul et de la définition de certains paramètres, cette section présente la fonction objective du modèle développé qui grâce à l'affectation des produits à travers les différentes zones de stockage, va permettre de définir la taille de ces dernières. De

plus, la solution trouvée nous démontrera quelle est la meilleure façon de procéder en ce qui concerne l'utilisation de l'entreposage externe. La combinaison de ces deux éléments viendra minimiser le coût total d'opération du futur entrepôt. Cette recherche part des postulats suivants.

Connaissance de :

- L'espace total de stockage
- La couverture d'inventaire mensuel
- Flux intrant mensuel de produit
- Le matériel de stockage et de son coût
- Coût de la main-d'œuvre
- Coût de l'utilisation d'un entrepôt externe

Indices :

- i Indice de produits $i = 1, 2, \dots, n,$
- j Type de flux $j = 1, 2, 3$
 $j = 1$: Cross docking, $j = 2$: Reserve, $j = 3$: Forward
- q Unité de période (une période = 1 mois) $q = 1, 2, 3, \dots, m$

Paramètres :

- D_i^q Demande en palette de produit i pour la période q
- H_{ij} Coût de manutention par palette pour une palette de produit i dans le type de flux j
- UB_j Niveau d'espace maximal en mètre carré disponible pour chacun des types de flux j
- LB_j Niveau d'espace minimal en mètre carré disponible pour chacun des types de flux j
- μ_j Coût mensuel d'espace interne par mètre carré du flux j comprenant le coût de matériel de stockage utile à la zone
- L_i^q Nombre moyen d'unités de produit i pour la période q dans le système

S_j	Espace nécessaire en mètre carré afin de stocker une palette pour chaque type de flux j
a_j	Nombre d'étages pour chaque type de flux j
TS	Espace des stockages totaux disponible en mètre carré
δ_j	Coût d'espace par mètre carré d'entreposage externe par période
K	Coût fixe par mois afin d'utiliser l'espace d'entreposage externe par période

Variables de décisions :

X_{ij}	1 si le produit i est affecté au flux de type j , sinon 0
Z_j	Proportion d'espace utilisé pour chacun des types de flux
e_j^q	Quantité d'espace en palette d'entreposage externe utilisé pour une zone j à la période q
y^q	Égale à 1 si espace d'entreposage externe est utilisé à la période q , sinon 0

Fonction objective :

$$\text{Min} : 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 \sum_{q=1}^{12} H_{ij} D_i^q X_{ij} + \sum_q^{12} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 \mu_j TS Z_j + \sum_q^{12} \sum_j^3 \delta_j S_j e_j^q + K \sum_q^{12} y^q$$

Contraintes :

$$\sum_{j=1}^3 X_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n S_j L_i^q X_{ij} \leq a_j Z_j TS + S_j e_j^q, \quad \forall j \in \{1,2,3\}, q \in \{1, \dots, m\} \quad (3)$$

$$\sum_j e_j^q \leq M y^q, \quad \forall q \in \{1, \dots, m\} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^3 Z_j = 1, \quad (5)$$

$$LB_j \leq TS Z_j \leq UB_j, \quad \forall j \in \{1,2,3\} \quad (6)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j, y^q \in \{0,1\}, \forall q, Z_j \geq 0, \quad \forall j \quad (7)$$

4.3 Description du modèle

Le modèle présenté ci-dessus a pour fonction objective Eq(1) la minimisation du coût total d'opération de la future installation de l'entreprise. Cet objectif sera atteint par la minimisation des coûts moyens de manutention H_{ij} , pour tous les produits i à travers les flux de stockage j , ainsi que les coûts de location μ_j . Pour ce faire, cette minimisation, s'appliquera à l'ensemble des périodes q pour lesquelles la demande D_i^q ainsi que la couverture d'inventaire I_i^q sont connues. Donc également L_i^q qui est le nombre moyen d'unités de produit i pour la période q dans le système. Il est à noter que la fonction objective contient également une variable e_j^q qui autorise le recours occasionnel au stockage via un entrepôt extérieur à celui de l'entreprise étudiée. Ceci ayant pour but de faire face aux pics d'activités saisonnières, cause de la saturation de la capacité de stockage actuelle. Le modèle viendra également donner la meilleure solution afin de diminuer les coûts liés à son utilisation.

Concrètement, le modèle via la variable X_{ij} va venir affecter l'ensemble des produits i à travers les flux de stockage j . En effet, lors de la résolution du problème cette variable va choisir quel produit i , doit être affecté à quel flux de stockage j , afin de diminuer l'ensemble des coûts moyens de manutention H_{ij} et des coûts de locations μ_j . Il est important de préciser

que la variable X_{ij} ne contient pas de paramètre q , car nous ne voulons pas l'affectation change à chacune des périodes du problème. L'affectation des produits doit être la même pour l'ensemble des périodes q , afin de faciliter les opérations internes de l'installation.

Dans le but de nous assurer que l'ensemble des produits soit affecté à une zone, nous avons dû créer la contrainte (2). En effet sans cette contrainte, la fonction objective étant de diminuer le coût total, les variables X_{ij} prendrait automatiquement une valeur de 0 pour ne payer aucun coût H_{ij} et μ_j . Ceci aurait donc pour conséquence de n'affecter aucun produit à travers les zones de stockages.

Afin de respecter l'environnement dans lequel l'entreprise évolue, la variable X_{ij} est binaire. Ceci viendra accomplir deux objectifs. Premièrement, les variables étant binaires, ces dernières ne pourront pas prendre de valeur négative, ce qui est primordial pour une affectation qui puisse répondre à une logique managériale. Deuxièmement, cette contrainte va s'assurer qu'un produit i ne peut pas être assigné à plus d'un type de flux de stockage j à la fois. Ceci vient du fait que nous ne détenons pas les informations nécessaires pour définir p_i concernant la répartition temporelle qu'un produit i va passer dans chacun des flux j s'il est affecté à plusieurs flux.

p_i Moyenne en pourcentage de temps qu'une charge de produit i passe dans la zone Reserve si le produit est assigné au flux 3. (dans le modèle de Heragu et al., (2005))

Concrètement, si un produit est affecté aux flux de stockage « Reserve » dans un premier temps et est par la suite affecté au flux «Forward» sur une période totale de 10 jours, il nous est

impossible de connaître la répartition temporelle de stockage à travers les deux flux (3 jours en Reserve, 7 jours en Forward ou 5 jours en Reserve et Forward).

Par la suite, le respect de la capacité d'espace de chacune des zones de stockages sera assuré par la contrainte (3). En effet, ici nous voulons faire en sorte que la consommation de capacité d'espace liée à l'affectation des produits i à travers les différents flux j , via la variable X_{ij} , ne dépasse pas le montant total disponible $a_j Z_j TS$. La consommation de l'espace sera trouvée par le calcul suivant $S_j L_i^q X_{ij}$ des zones. Il faut également préciser que cette contrainte dispose d'une variable e_j^q qui va permettre en cas de saturation de l'espace totale d'utiliser le recours à un espace d'entreposage externe y , permettant de contrer toute éventuelle rupture d'espace.

Les espaces d'entreposage externe n'étant pas gérés par l'entreprise elle-même, cette dernière n'a pas le contrôle sur les systèmes d'entreposage et donc sur la gestion de l'espace. De ce fait, l'entreprise est autorisée à envoyer un nombre de palettes et non à utiliser une surface en espace. Nous avons donc multiplié la variable e_j^q par la consommation d'espace S_j dans le but de connaître le nombre de palettes à envoyer vers l'entrepôt externe et non pas l'espace supplémentaire nécessaire. Cette utilisation de capacité additionnelle viendra ajouter deux coûts additionnels. Le premier, le coût δ_j de transférer une unité de produits i vers l'espace d'entreposage externe y^q . Le second, via la variable binaire y^q lié à la location d'une capacité additionnelle de stockage fixe. En pratique, si le recours à un entrepôt externe est nécessaire la variable prendra la valeur 1 qui enclenchera un coût K .

Il faut ici souligner que la location d'espace de stockage supplémentaire a apporté une modification à la fonction objective du problème. Cette modification vient du fait que

contrairement au modèle présenté par Heragu nous ne pouvons pas avoir recours à la variable X_{ij} , afin de déterminer le loyer de l'entrepôt privé. Effectivement si nous avons choisi de calculer le loyer de la manière présentée ci-dessous pour connaître les besoins en espace de l'entrepôt privé, le nombre de palettes envoyées à l'entrepôt externe via la variable e_j^q ne sera pas soustrait à la demande D_i^q , ce qui calculera donc un loyer trop important, car le modèle considérera que les palettes envoyées à l'entrepôt externe, seront également présentes dans le système interne de l'installation privée.

$$\sum_{q=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 \mu_j \left(\left(\frac{S_j}{a_j} \right) L_i^q X_{ij} \right)$$

- I_i^q Couverture d'inventaire mensuel de produits i pour la période q
- S_j Espace nécessaire afin de stocker une unité de produits i pour chaque type de flux j
- a_j Niveau d'espace disponible en hauteur pour chacun des types de flux
1 = Cross docking, 2 = Reserve, 3 = Forward

L'utilisation de la variable e_j^q aura également un impact sur notre contrainte de capacité (3), qui en cas de rupture d'espace lors de l'affectation des produits, va permettre d'utiliser le recours à l'espace externe de stockage.

Le recours à l'entreposage externe nous a poussés à la création de la contrainte (4) qui vient spécifier que le nombre de palettes transféré à l'entrepôt externe ne doit pas excéder la capacité maximale de stockage de ce dernier.

Une fois l'affectation des produits effectuée, le modèle via la variable Z_j va venir définir la taille des zones de stockage de l'entrepôt. Pour se faire, la variable distribuera l'espace total maximal disponible UB_j à travers chacune des zones. Pour cette raison nous avons créé la contrainte (5) qui veille à ce que l'ensemble de l'espace de stockage disponible soit distribué. De plus, la contrainte (6), garantira que chacune des zones ne dépasse pas l'espace total disponible TS multiplié par la variable Z_j .

Chapitre V : Application du modèle à une situation réelle

Notre étude étant une application de notre modèle à une situation réelle, ceci amènera plusieurs implications concernant le traitement des données ainsi que son analyse. De plus, l'entreprise faisant partie d'un environnement où elle ne maîtrise pas certains facteurs externes pouvant avoir une influence sur ses activités. Il devient primordial de procéder à des études selon plusieurs scénarios concernant sa demande afin d'en analyser les résultats et les impacts sur l'espace de stockage nécessaire.

Pour ce qui est des données concernant la demande, l'entreprise nous a fourni plusieurs documents Excel, répertoriant l'ensemble des flux de produits entrants dans chacun des entrepôts sur une période de une année. Noter bien que les produits transférés dans les entrepôts externes ne disposent pas de fichiers spécifiques. Les données concernant ce type d'opérations sont mélangées aux opérations « normales » des entrepôts privés.

Comme mentionner précédemment dans la section 3.1 ces fichiers contient 1 681 567 lignes de commandes, répartie sur 24 fichiers Excel, pour un poids de 1,4 giga de données présentées de la façon suivante :

Tableau 2 : extrait de la base de données de la demande par magasin

Delivery Date	Item Code	Pcs/Box	Shipping/Pcs	Shipping/Box	Box/Layer	Layer/pallet	Locate	Pallets	family
01/05/2015	31800077001	1	1	1,0	8	5	AP	0,025	318000
01/05/2015	31806015001	5	5	1,0	3	4	AP	0,0833333	318060
01/05/2015	31821002001	1	1	1,0	6	17	AP	0,0098039	318210
01/05/2015	31822002001	1	3	3,0	4	24	AP	0,03125	318220
01/05/2015	31822024001	1	3	3,0	4	24	AP	0,03125	318220
01/05/2015	31824152001	1	3	3,0	4	7	AP	0,1071429	318241
01/05/2015	31824154001	1	2	2,0	4	16	AP	0,03125	318241

Une fois en possession de ces informations nous avons procédé au calcul afin de connaître le nombre de palettes reçues à l'entrepôt par ligne de commande. Pour ce faire, nous avons procédé de la manière suivante ;

$$Sb/(Bl * Lp)$$

Sb Nombre de boites envoyé à l'entrepôt (Boxes)

Bl Nombre maximal de boites par couche par palette (Boxes/Layer)

Lp Nombre maximal de couches par palette (Layers/Pallet)

Par ailleurs, une des conséquences de l'application du modèle à une entreprise réelle sur le traitement des données a été la création de classes de produits. L'entreprise nous a demandé de créer des classes afin de faciliter l'affectation de la marchandise vers les zones de stockage. Cette requête vient du fait que l'entreprise commercialise plus de 45 000 produits passant par ses entrepôts. Ceci implique donc que certains produits soient stockés en tout temps dans la même zone. Prenons l'exemple d'un t-shirt, si nous ne créons pas de classe, il est possible que le modèle affecte le même t-shirt dans deux zones d'entreposage distinctes simplement, car la taille ou la couleur est différente.

Dans cette optique devant permettre de rendre les résultats facilement interprétables pour les opérations du futur entrepôt, nous avons dans un premier temps avec l'accord de l'entreprise classé ces 45 000 SKU en 2 497 catégories de produits différentes. Ces différentes catégories ont été déterminées grâce à la nomenclature de chacun des produits que l'entreprise distribue, simplement en diminuant le nombre de chiffres des code-barres de 11 à 6. Cette classification des produits a également eu un impact sur la demande D_i^q de chacune des

catégories ainsi que sur la couverture d'inventaire mensuel I_i^q . Pour ce qui est de la demande, nous avons simplement additionné le nombre de palettes par ligne de commande de chacun des produits d'une même classe.

Pour ce qui est de la couverture d'inventaire, nous avons procédé de manière différente. La couverture d'inventaire ainsi que la demande étant différentes pour chacun des produits, nous avons créé un poids de la demande, pour trouver un temps de couverture d'inventaire mensuel correspondant à la réalité des opérations de la catégorie.

Tableau 3 : Extrait base de données de la couverture d'inventaire mensuel

item code	item name	no. of pallet in stock	total stock d	average stock day per pallet
40000003001	東元小鮮綠能冰箱 R1061LA 2994	12	244	20,3
40000006001	大同一級能效小冰箱 TR-100HS	1	4	4,0
40001001001	Panasonic 雙門電冰箱 NR-B138T	2	119	59,5
40001010001	東元 R1302W 雙門冰箱 2697	33	1 745	52,9
40002001001	聲寶金美滿雙冰典雅白 SR-L25G	2	38	19,0

Par exemple, si on prend deux produits appartenant à la même catégorie avec les paramètres suivants ;

Produits A : 10 palettes en stock et couverture d'inventaire 20 jours

Produits B : 100 palettes en stock et couverture d'inventaire 5 jours

Pour trouver le paramètre I_i^q nous avons effectué le calcul suivant $(10 \times 20 + 100 \times 5) / 110 = 6,36$ jours de moyenne de couverture d'inventaire pour l'ensemble des produits de la catégorie. L'exactitude de ce calcul est primordiale dans la définition de l'espace de stockage nécessaire pour le futur entrepôt. Une mauvaise estimation de ce paramètre pourrait avoir des répercussions extrêmement négatives quant à la qualité de la solution obtenue par la fonction

objective du problème. Effectivement, ce paramètre étant présent dans la contrainte (3) du modèle supposé assurer le respect de la capacité d'espace de chacune des zones de stockages pour ne pas dépasser montant total disponible $a_j Z_j T S$. La consommation de l'espace étant obtenue par $S_j D_i^q I_i^q X_{ij}$ ($S_j L_i^q X_{ij}$ dans la contrainte 3 du modèle), une mauvaise estimation de I_i^q , aura pour conséquence de fausser le temps que doit rester une catégorie de produit dans le système de l'entrepôt.

À noter que lors du transfert des données dans le logiciel d'optimisation, nous avons bien fait en sorte que le nombre de jours de la couverture d'inventaire ne dépasse pas le nombre de jours de la période (janvier = 31 jours). Comme il est montré dans le tableau 3, ci-dessus, certains produits peuvent avoir une couverture d'inventaire de 59,5 jours. Ceci peut être simplement expliqué par le fait qu'un produit soit resté l'ensemble de la période q-1 (30 jours) + 29,5 jours sur la période q.

Pour ce qui est du paramètre H_{ij} , nous avons détaillé son calcul dans la section (4.1). Concrètement, ce paramètre nous permet de connaître le coût de déplacement d'une palette à travers chacune des zones de stockage de l'entrepôt. Ce coût prend en considération le coût horaire de main-d'œuvre, le nombre de palettes déplacé dans chaque zone par heures, ainsi que l'amortissement des machines utilisées pour chacune des zones.

De son bord, le coût de location au mètre carré μ_j , tient compte de plusieurs facteurs. Le coût de matériel de stockage et le coût de location au mètre carré. Pour ce qui est du coût du matériel de stockage, après plusieurs rencontres avec les responsables des entrepôts utilisés par l'entreprise, il nous a été communiqué que le prix d'une cellule de stockage utilisant un type de matériel « Rack » pouvant contenir deux palettes était de 1000 NTD. Quant au prix du mètre

carré, les données que nous avons utilisées sont calquées sur le prix que paie actuellement l'entreprise.

Au final pour trouver le coût du paramètre μ_j , nous avons procédé au calcul suivant :

$$\mu_j = \left(\frac{1000}{\frac{RM_j}{2 * S_j}} \right) * a_j + SQM$$

RM_j = Amortissement du matériel de stockage pour chaque type de flux j

a_j Niveau d'espace disponible en hauteur pour chacun des types de flux
 a = Cross docking, b = Réserve, c = Forward

S_j Espace nécessaire afin de stocker une unité de produits i pour chaque type de flux j

SQM = Prix du mètre carré

Afin de trouver le prix de location au mètre carré, nous avons procédé au calcul ci-dessus. Nous avons divisé le prix d'installation d'une cellule par sa période d'amortissement. Une fois en possession de cette information, nous l'avons divisé par : deux multiplié par la consommation de stocker une palette avec ce type de matériel. Ensuite, nous avons multiplié ce résultat par l'espace en hauteur afin de tenir compte du coût du matériel. Pour finir, nous avons ajouté le prix du matériel précédemment calculé au prix du mètre carré. La zone « Cross Docking » n'utilisant aucun matériel de stockage si ce n'est un marquage au sol ne requiert pas un tel calcul.

Concernant le coût variable de transfert d'une unité de produit i vers l'espace d'entreposage externe δ_j , ce dernier a été défini avec l'entreprise en prenant en compte plusieurs

facteurs. Premièrement à ce coût a été associé un coût administratif, car l'utilisation de capacités externes engendre des complications dans la communication avec les fournisseurs ainsi qu'avec les informations de savoir où est chaque produit. De plus, la séparation du stock amène aussi des complications, du fait des employés des entrepôts externes ne connaissant pas les produits de l'entreprise et ce qui peut conduire à un ralentissement dans les opérations. Pour finir, il est nécessaire de déplacer certaines classes de produit de l'entrepôt interne à l'entrepôt externe, ce qui amène des coûts de transports supplémentaires.

Comme il a été mentionné précédemment, au cours de cette étude nous procéderons à diverses analyses de scénarios concernant le niveau de demande ainsi que la taille de chacune des zones de stockage. Comme premier scénario, nous allons utiliser la demande actuelle ainsi que combiner la taille des deux entrepôts en un seul afin d'en tirer les premières conclusions. Par la suite, nous allons augmenter ou diminuer l'espace disponible d'entreposage selon les résultats obtenus.

Chapitre VI : Analyse de scénarios

L'objectif principal de ce mémoire est d'étudier les besoins en espace d'une entreprise de la grande distribution à Taïwan. Étant donné que l'entreprise veut déménager dans un nouvel entrepôt, il nous a semblé logique de procéder à des analyses de scénarios quant à différentes configurations d'espace au sol et en hauteur. Ceci vient du fait qu'il est compliqué pour une entreprise de trouver un entrepôt qui répond exactement à la solution optimale qu'aurait défini un modèle cherchant la taille optimale d'un entrepôt sans que cela soit basé sur un plan déjà existant.

L'analyse de scénarios a été effectuée via le logiciel d'optimisation AIMMS sur un MacBook Air avec un processeur 1,8 GHz Intel core i5 et une mémoire de 4 Go 1600 MHz DDR3. Afin d'être capable d'utiliser le logiciel sur un ordinateur de type Macintosh nous avons utilisé le logiciel Parallels II nous permettant d'utiliser le système d'exploitation Windows.

Le premier scénario que nous allons étudier respectera l'espace au sol et en hauteur des deux entrepôts loués actuellement par l'entreprise. Dans un second scénario, nous utiliserons toujours l'espace au sol des deux entrepôts précédemment étudiés, mais nous procéderons à des modifications quant à l'espace en hauteur de la zone « Forward ». Pour ce qui est du troisième scénario, nous utiliserons une tout autre configuration d'entrepôt afin de vérifier si des économies plus importantes sont réalisables.

6.1 Scénario 1 : Configuration actuelle

Notre point de départ concernant les différents scénarios de notre modèle sera d'utiliser la configuration actuelle des entrepôts dont dispose l'entreprise étudiée. Pour ce faire, nous

avons additionné l'espace de stockage des deux entrepôts pour étudier les répercussions de la politique d'affectations sur les besoins en espace. Effectivement la configuration de l'espace, restant la même l'impact sur l'espace d'entreposage externe devrait être minime.

Pour rappel, l'entreprise étudiée dispose actuellement d'un espace de stockage de 36 291 mètres carrés organisé de la façon suivante ;

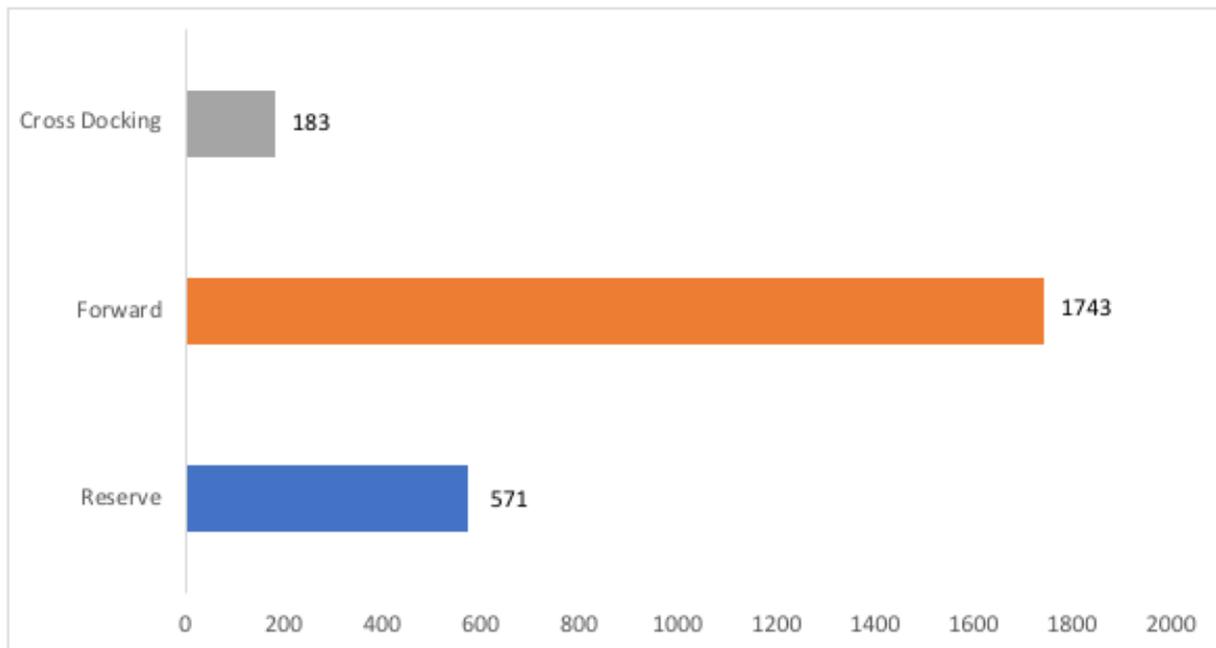
- **Reserve** : 21 946 mètres carrés
 - 51% de la zone avec espace en hauteur de 5 palettes
 - 27% de la zone avec espace en hauteur de 4 palettes
 - 22% de la zone avec espace en hauteur de 3 palettes
- **Forward** : 3 424 mètres carrés (espace en hauteur 1 palette)
- **Cross Docking** : 10 992 mètres carrés (espace en hauteur 1)

Les résultats du premier scénario nous donnent un résultat total de 121 028 459.1 NTD, répartis de la façon suivante ;

- Loyer : 78 000 000 NTD
- Coût de manutention : 27 728 000 NTD
- Coût utilisation entrepôt externe : 12 800 000 NTD
- Coût de manutention lié à entrepôt externe : 2 500 000 NTD

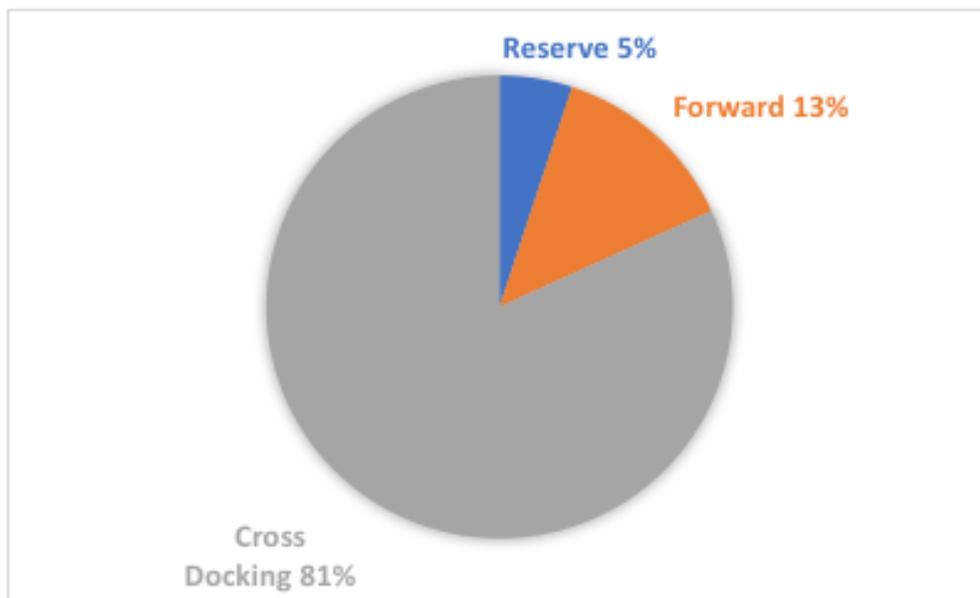
Pour ce premier scénario, la répartition de la marchandise est présentée dans le graphique 10 ci-dessous. Comme nous pouvons le constater, la majorité des classes de produits 69,80%, vont être stockées dans la zone de stockage « Forward ».

Graphique 10 : Répartition des classes de produits par zones de stockage (S1)



Si nous allons plus en détail, nous nous rendons compte que les classes de produits présentes dans cette zone sont celles ayant une quantité de palettes mensuelles moyennes faibles.

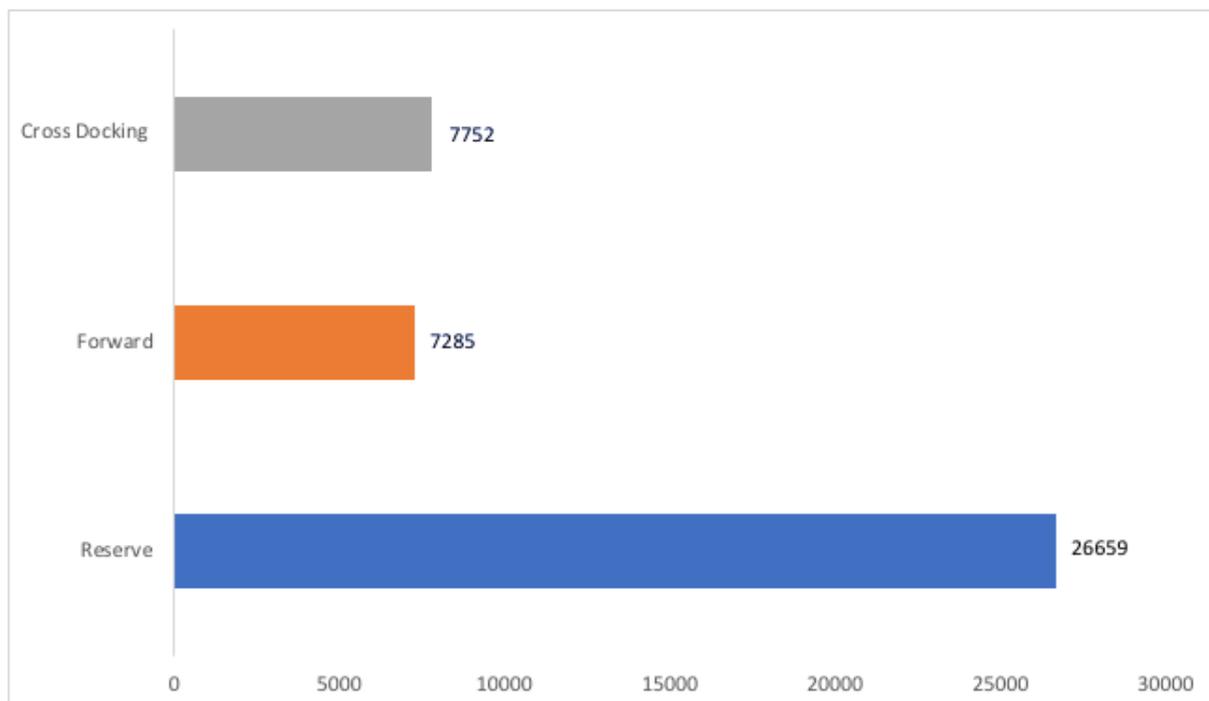
Graphique 11 : Répartition des classes ayant un volume mensuel 0 à 10 palettes (S1)



En effet, comme le démontre le graphique 1 dans la section 3.1, plus de 80% des classes de produits ont un volume mensuel moyen compris entre 0 et 10 palettes sur l'ensemble de la période étudié.

Cette observation est vérifiée dans le graphique 11 où nous pouvons constater que malgré les 1 743 classes de produits affectées à la zone « Forward », la moyenne mensuelle de palettes transitant par cette zone de stockage est de 7 285 palettes. À l'inverse, la zone « Reserve » ne stockant que 571 classes de produits, à un volume mensuel moyen d'entreposage de 26 659 palettes.

Graphique 12 : Moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S1)

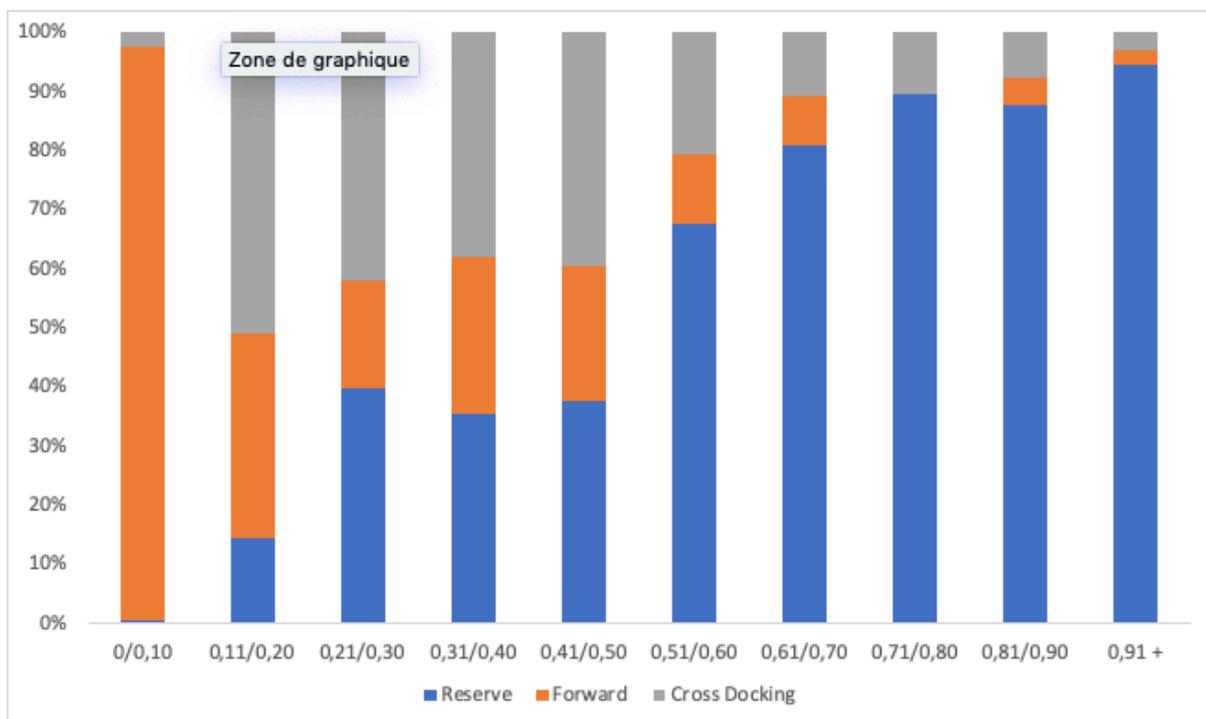


Nous pouvons expliquer ce résultat en deux étapes. Premièrement, les coûts de manutentions H_{ij} et du mètre carré μ_j pour les zones « Forward » et « Cross Docking » sont les mêmes pour ce scénario. Rendant donc le facteur coût non influant sur la répartition des classes de marchandise. Ce qui fait la différence est la faible quantité d'espace disponible pour la zone

« Forward » qui est donc parfaitement adapté pour un grand nombre d'articles ayant un faible volume d'activité.

Par ailleurs, il est intéressant d'observer que les classes de produits ayant un ratio de la couverture d'inventaire mensuel court se sont vues être affectées en priorité à la zone « Forward ». Le graphique ci-dessous met en avant ce fait qui est expliqué par le fait que les opérations de déplacement de la marchandise étant plus nombreuses pour ce type de classes, il est donc plus avantageux économiquement de les affecter dans une zone où les coûts de manutentions sont faibles.

Graphique 13 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S1)

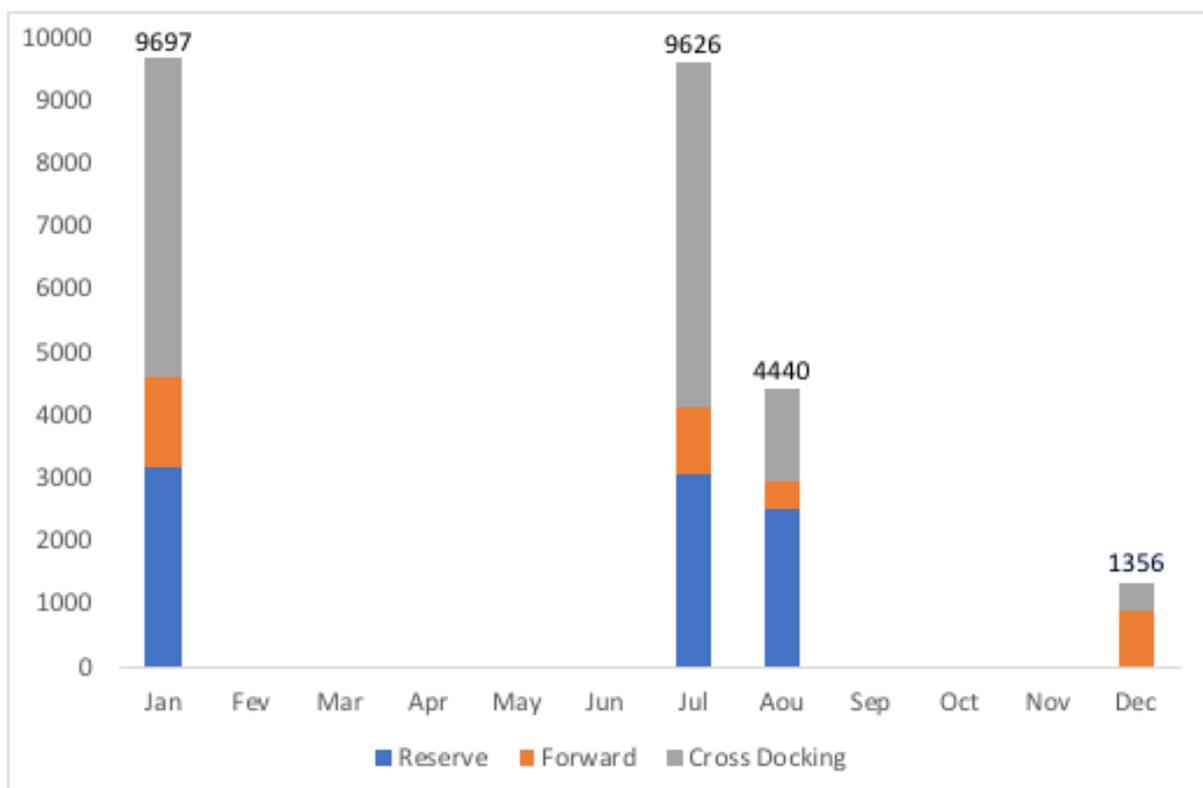


Pour en revenir à notre analyse, comme nous l'avons pensé, les coûts de loyer et de l'utilisation de l'entrepôt externe restent inchangés par rapport aux données recueillies au pré de l'entreprise. Nous pouvons donc en déduire que la politique d'affectation des produits à

travers les différentes zones de l'entrepôt ne revêt pas une implication importante quant à la libération de plus d'espace de stockage.

Effectivement, si nous nous penchons sur le graphique ci-dessous, nous pouvons nous rendre compte que le recours à l'entreposage externe arrive aux mêmes périodes que celui de l'entreprise. Par ailleurs, nous pouvons observer que la grande majorité des palettes envoyées vers l'entreposage externe proviennent de la zone « Cross docking », ce qui est logique au vu que l'entrepôt est saturé et que les coûts de manutention soient moins élevés qu'en zone « Reserve ».

Graphique 14 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S1)



Lorsque ce projet nous a été présenté par l'entreprise une des hypothèses émises par le directeur des opérations de l'entreprise est qu'il serait bénéfique en termes d'espace et donc de coût de loyer, d'aller chercher plus de capacité de stockage en hauteur pour rentabiliser le plus

possible le coût du mètre carré. Nous allons donc vérifier cette hypothèse lors du scénario lors de la section suivante.

Ces résultats n'ont pas pu être comparés à ceux de l'entreprise, car nous ne pouvons pas retracer clairement l'historique d'affectation des produits à travers chaque zone utilisée. Or cette information est essentielle si nous voulons estimer le coût actuel de manutention de l'entreprise. Cette dernière a une approche différente du calcul de ses coûts d'opération et ne détient pas le calcul de coût de déplacement des palettes à l'intérieur de l'entrepôt.

6.2 Scénario 2 : Configuration actuelle avec espace en hauteur supplémentaire

Pour ce qui est de notre second scénario, nous avons décidé d'ajouter de la capacité de stockage en hauteur à la zone « Forward ». Plusieurs facteurs ont influencé ce choix. Le premier d'entre eux est d'ordre opérationnel, car il est très difficile d'envisager la possibilité de gerber des palettes dans une zone de types « Cross Docking » où la rapidité de mouvement est primordiale. Le second facteur a été de penser qu'il serait logique que la zone « Forward » dispose d'espace en hauteur.

Ce choix a également plusieurs impacts quant à la structure des coûts. Tout d'abord, concernant le coût du mètre carré μ_j , auquel il faudra désormais ajouter le coût des installations de stockage type Reserve afin de pouvoir gerber les palettes en hauteur. À cela, il faut également changer le coût de manutention H_{ij} , du fait du temps en plus nécessaire afin d'aller chercher les palettes en hauteur. Pour finir, n'oublions pas qu'un matériel de stockage de types Reserve prend également plus d'espace qu'un simple marquage au sol, ce qui viendra avoir une influence sur la consommation d'espace par palette S_j .

Concrètement, en changeant de type de matériels, le nombre de lieux de cueillette de palette au sol va passer de 815 cellules à 744. Comme nous avons pu l'observer dans le graphique ci-dessus, la période de décembre envoie 1 356 palettes vers l'entrepôt externe. Partant de ce constat si nous accordons à la zone « Forward » la possibilité de stocker jusqu'à 3 palettes en hauteur la capacité passerait de 744 à 2 232 palettes suffisamment pour couvrir les 1 356 palettes allant en entrepôt externe à la période de décembre, ainsi que la perte de capacité de 71 positions de cueillage au sol lié au changement de matériel de stockage.

Au final pour ce scénario l'entrepôt disposera d'un espace de stockage total de 36 291 mètres carrés, tout en respectant la configuration suivante :

- **Reserve** : 21 946 mètres carrés
 - 51% de la zone avec espace en hauteur de 5 palettes
 - 27% de la zone avec espace en hauteur de 4 palettes
 - 22% de la zone avec espace en hauteur de 3 palettes
- **Forward** : 3 424 mètres carrés (espace en hauteur 3 palettes)
- **Cross Docking** : 10 992 mètres carrés (espace en hauteur 1)

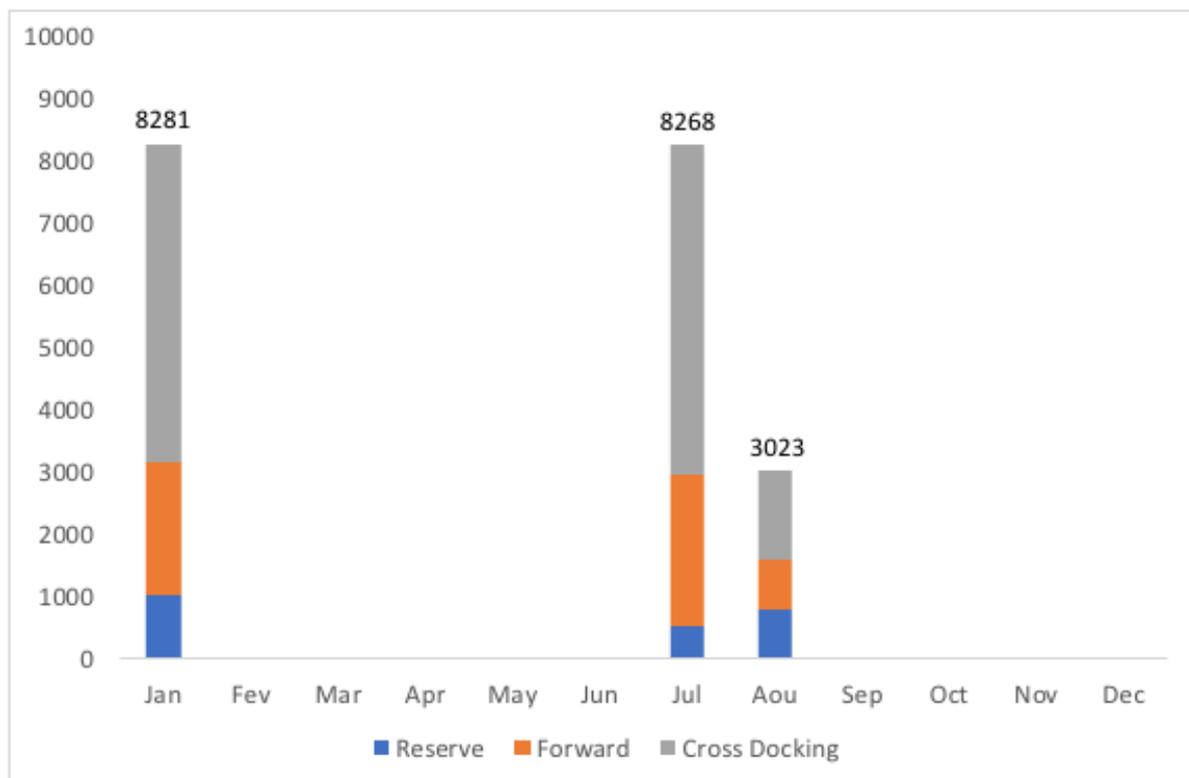
Le résultat du second scénario après 47 397 itérations exécutées en 2 minutes le solveur nous donne une solution à moins de 0,01% de la solution optimale avec un total de 117 135 966,5 NTD confirmant l'hypothèse concernant l'espace en hauteur. Nous pouvons détailler les coûts de la façon suivante;

- Loyer : 78 600 000 NTD

- Coût de manutention : 26 978 000 NTD
- Coût utilisation entrepôt externe : 9 600 000 NTD
- Coût de manutention lié à entrepôt externe : 1 957 200 NTD

Tout d'abord, l'analyse des résultats nous permet donc de diminuer le coût total des opérations grâce au recours à l'espace de stockage en hauteur. En résulte donc une utilisation à l'espace d'entreposage externe moins important ce qui va permettre de supprimer l'utilisation de l'entreposage externe pour la période de « Décembre », comme démontré sur le tableau ci-dessous.

Graphique 15 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S2)

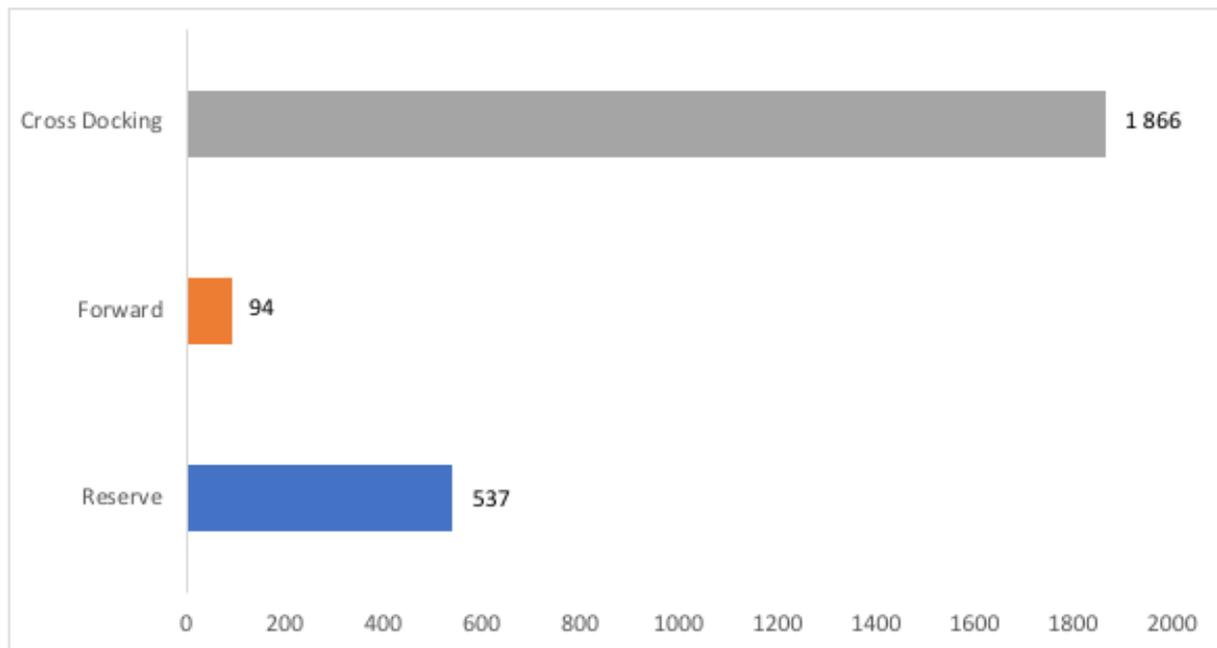


De plus, les coûts de manutentions ont diminué, car une partie du stock de la zone « Reserve » a été transféré à la zone « Forward » dont le coût de mouvement des palettes est moins élevé. De plus, le coût total de manutention lié à l'utilisation de l'entrepôt externe a

naturellement diminué du fait la quantité de palettes envoyée vers cette installation tampon, soit passée, de 25 119 palettes à 19573 soit une diminution de l'ordre de 5 546 palettes. Cette baisse a amené une économie de 21,72%, représentant un coût de 550 000 NTD.

La différence majeure apportée par cette nouvelle configuration se situe au niveau de la répartition des classes de produits à travers les zones de stockage. Le graphique 16 présenté ci-dessous met en exergue ce fait. Effectivement, le nombre de classes stockées dans les zones « Forward » et « Cross Docking » change radicalement.

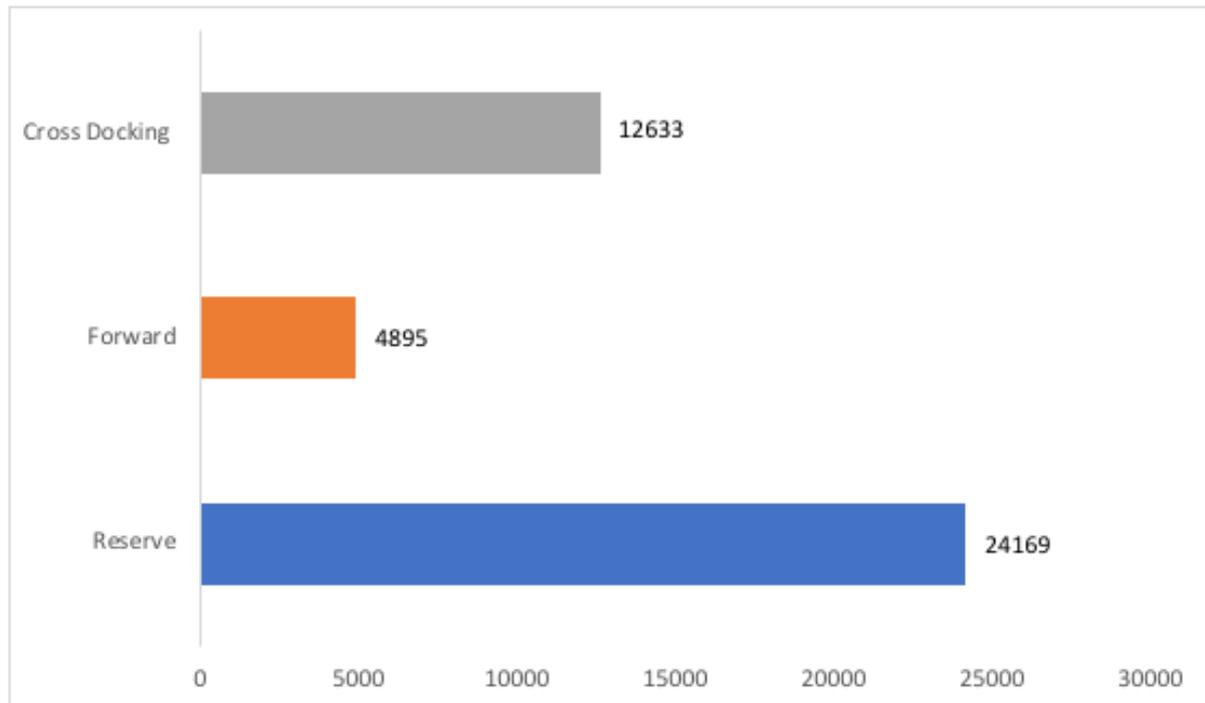
Graphique 16 : Répartition des classes de produits par zones de stockage (S2)



La principale cause de ce changement est liée aux nouveaux coûts de manutentions H_{ij} (passant de 10,2 NTD à 18,8 NTD par palettes) et du mètre carré μ_j (passant de 171 NTD à 183 NTD). Comme mentionné plus haut, ce changement dans les coûts est expliqué par un changement d'équipement et des opérations plus consommatrices en temps.

De ce fait il devient donc logique que la fonction objective du modèle affecte un plus grand nombre de palettes vers la zone « Cross Docking », afin de diminuer les coûts de manutentions.

Graphique 17 : Moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S2)

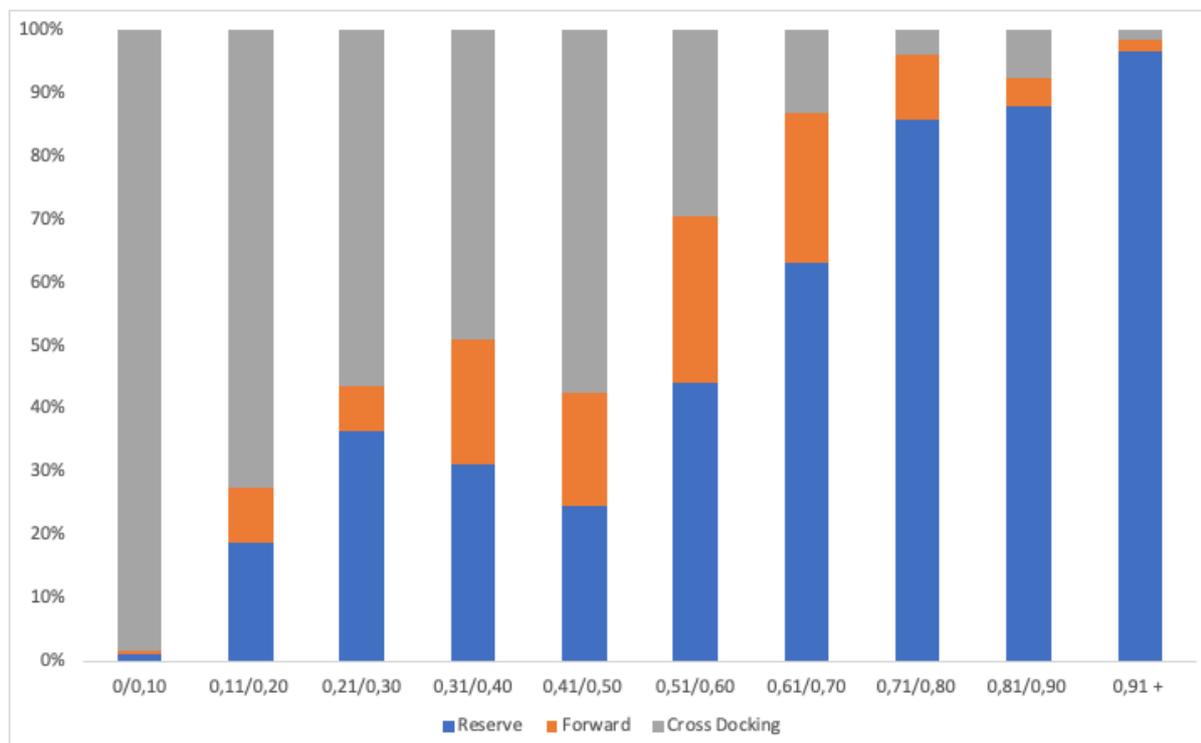


Ce changement dans la répartition des classes de produits vers les zones de stockage s’observe également à travers l’analyse du ratio de la couverture d’inventaire mensuel. Une nouvelle fois les produits ayant un ratio faible, sont envoyés dans la zone de stockage ayant les plus faibles coûts de manutention.

Comme le démontre le graphique 18, les produits ayant un ratio de couverture d’inventaire faible, sont désormais passés de la zone de stockage « Forward » au flux « Cross Docking ». Ce transfert de classe de produit selon la caractéristique du temps passé dans le système d’entreposage est une nouvelle fois expliqué par le changement du type de matériel

intervenir dans la zone « Forward ». Effectivement, l'installation d'étagères pour ce type de flux vient ralentir la vitesse du déplacement des palettes venant donc justifier ce transfert.

Graphique 18 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S2)



Maintenant, que nous avons la confirmation que l'espace en hauteur peut permettre une utilisation moins importante des capacités externes à l'entreprise, il pourrait être intéressant de voir si plus d'espace en hauteur pourrait également permettre d'utiliser une surface d'installation privée moins importante que celle utilisée par l'entreprise actuellement, ceci dans le but d'obtenir un coût de location total moins important.

6.3 Scénario 3 : nouvelle configuration

Pour ce qui est de ce nouveau scénario, nous avons pris des hypothèses quant à la configuration de l'entrepôt. Dans ce scénario, l'installation disposera d'un espace total de stockage de 30 500 mètres carrés organisé comme présenté ci-dessous :

- **Reserve** : 21 000 mètres carrés (espace vertical 5 palettes)
- **Forward** : 5 500 mètres carrés (espace vertical 3 palettes)
- **Cross Docking** : 4 000 mètres carrés (espace vertical 1 palette)

Dans cette configuration, l'entrepôt disposerait d'une surface de stockage au sol, 15.95% inférieure à celle dont dispose l'entreprise actuellement. Cependant, contrairement à la configuration actuelle, la totalité de la zone « Reserve » dispose d'un espace vertical de 5 palettes. Cette configuration nous a de nouveau amenés à des changements du coût de location du mètre carré μ_j (passant de 184,87 NTD à 187 NTD) pour ce qui est de la zone « Reserve ».

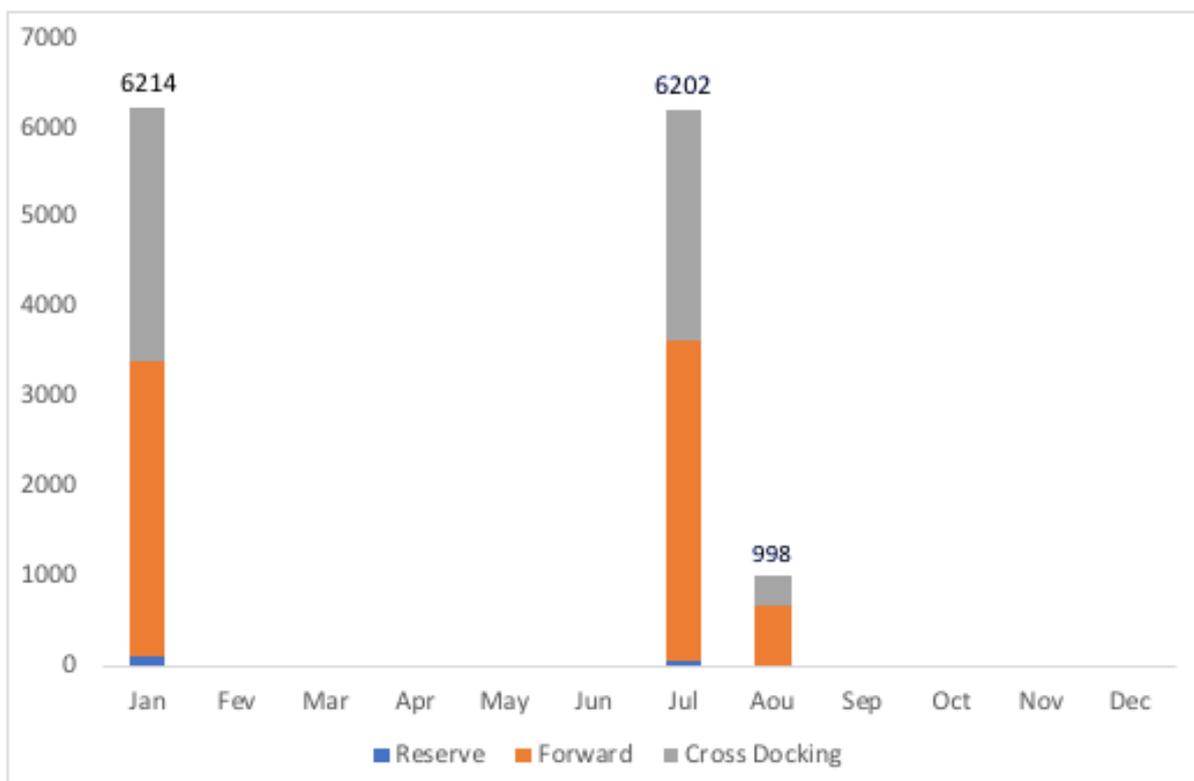
Après 43 421 itérations exécutées en 2 minutes, nous avons pu trouver une solution à 0.00% de la solution optimale pour un total de 106 583 924.4 NTD.

- Loyer : 67 200 000 NTD
- Coût de manutention : 28 442 524 NTD
- Coût utilisation entrepôt externe : 9 600 000 NTD
- Coût de manutention lié à entrepôt externe : 1 341 400 NTD

L'analyse des résultats démontre que l'entrepôt bien qu'ayant une surface au sol réduite, mais disposant d'un espace disponible vertical plus important donne la possibilité de réaliser importante. La baisse du coût total entre le scénario 2 et 3 est de l'ordre de 9% (en comparaison la baisse des coûts entre le scénario 1 et 2 était de 3,2%). Cette baisse est liée principalement à une diminution de l'espace total de stockage sous seing privé et représente une économie de 14,50% (11,4 millions NTD).

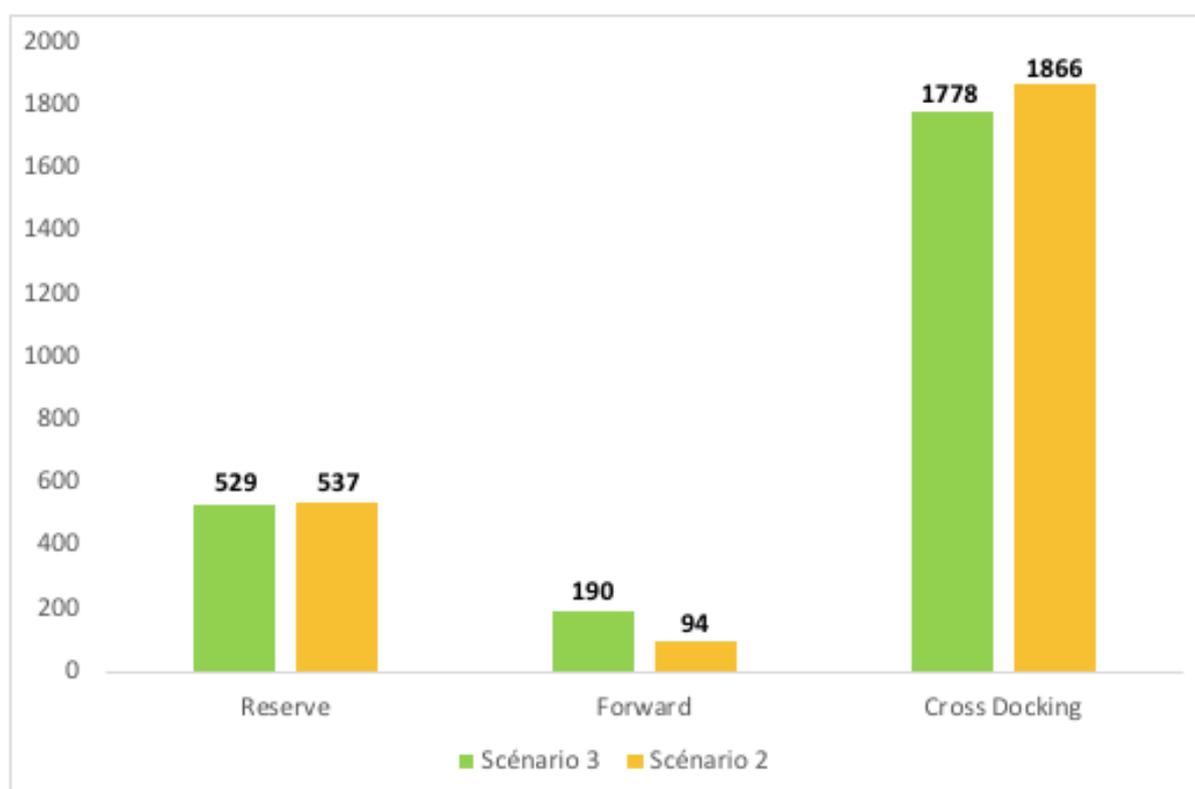
Cette baisse des coûts d'opération vient également d'une bonne gestion de l'espace d'entreposage externe. Non seulement la solution de la fonction objective requiert une utilisation similaire de l'espace d'entreposage externe pour les scénarios 2 et 3 qui est de 3 périodes, mais elle permet en plus de réduire le nombre de palettes envoyé vers l'entrepôt extérieur, ce qui va venir apporter une baisse supplémentaire de 31,46% sur les coûts de manutentions (13 414 palettes contre 19 572).

Graphique 19 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S3)



Pour ce qui est de la répartition des classes de produits à travers les différentes zones d'entreposage, le graphique 20 met en avant une grande similarité concernant la répartition des classes de produits à travers les différentes zones d'entreposage.

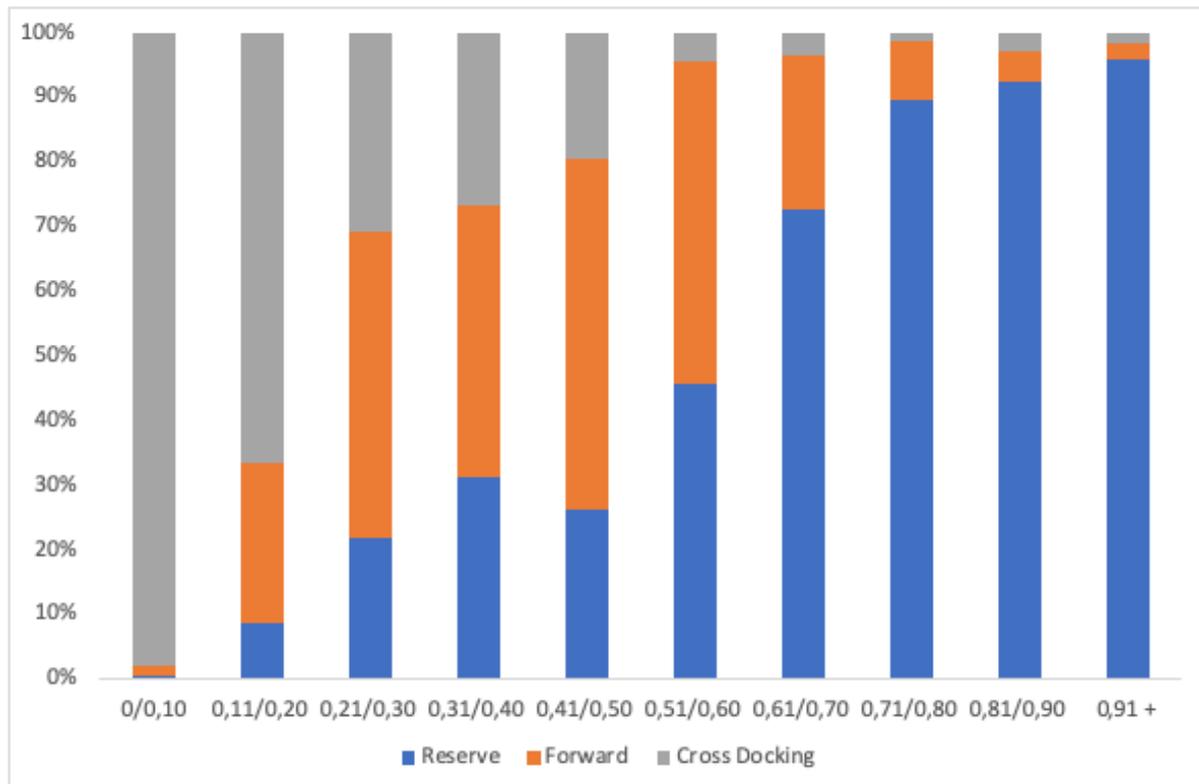
Graphique 20 : Comparatif de la répartition des classes de produits par zones de stockages (S 2 & 3)



Bien que sur l'ensemble des 2 497 classes de produits cela puisse sembler minime, il est tout de même à noter que la zone « Forward » a plus que doublé le nombre de catégories à stocker. Cette évolution dans la répartition des classes de produits provient essentiellement de la zone « Cross Docking ». Si nous poussons notre analyse, nous observerons alors que les classes de produit transférées de la zone « Cross Docking » à la zone « Forward » sont celles ayant une couverture d'inventaire mensuel moyenne plus importante. Ceci est tout à fait normal,

car les opérations dans la zone « Cross Docking » par nature réclament une rapidité dans l'exécution des opérations de stockage.

Graphique 21 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire (S3)

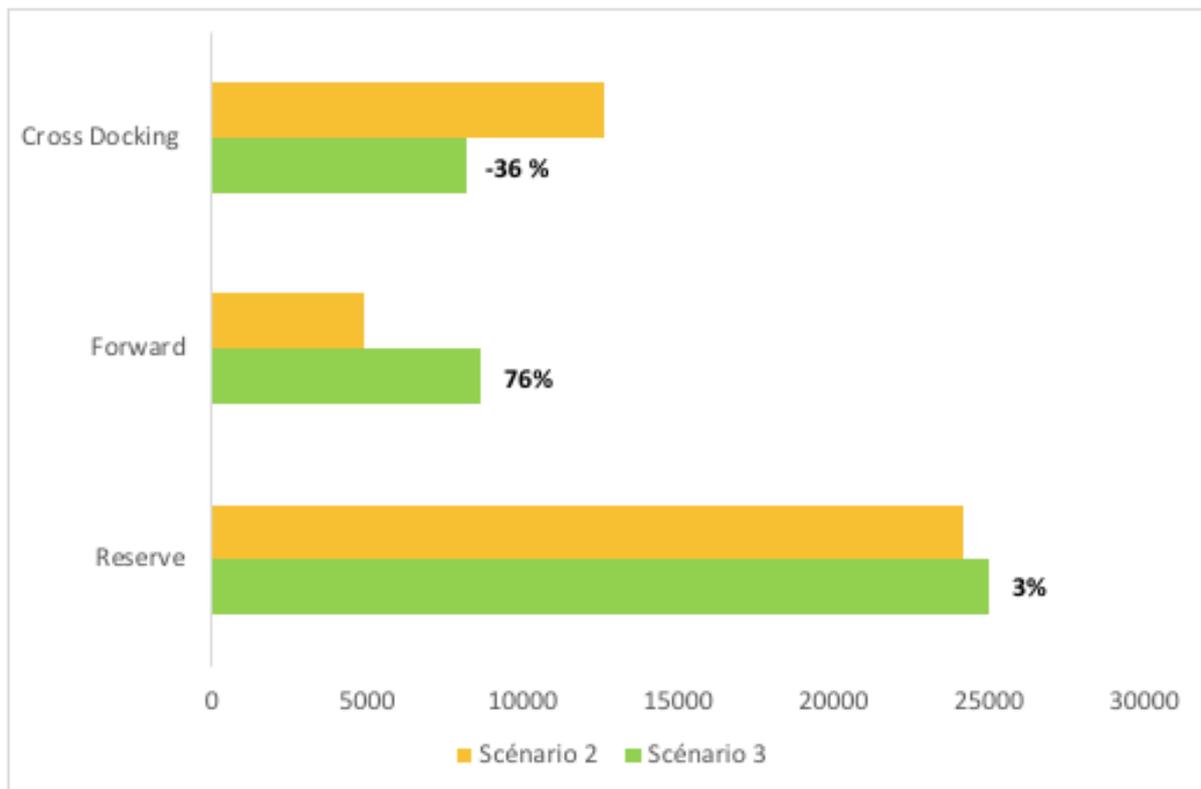


Malgré une baisse conséquente du coût total d'opération entre le scénario 2 et 3, il faut tout de même noter une légère hausse des coûts des manutentions pour les déplacements à l'intérieur de l'installation de stockage. Cette dépense supplémentaire de 3,9% trouve sa source dans le transfert de classes de produits de la zone « Cross Docking » à la zone « Forward » que nous avons mentionnée plus haut. Effectivement les coûts de manutention étant plus importants d'une zone à une autre, la hausse de ces coûts à tout ce qu'il a de plus logique.

D'ailleurs, le graphique 22 nous démontre clairement que les classes transférées ont un volume en palettes élevé. Les données issues des résultats vont clairement dans cette direction,

si la zone « Cross Docking » connaît qu'une diminution de 4,71% de ses classes de produits, cela se traduit par une décroissance en termes de volume de palettes de l'ordre de 36%.

Graphique 22 : Comparatif moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S2 & 3)

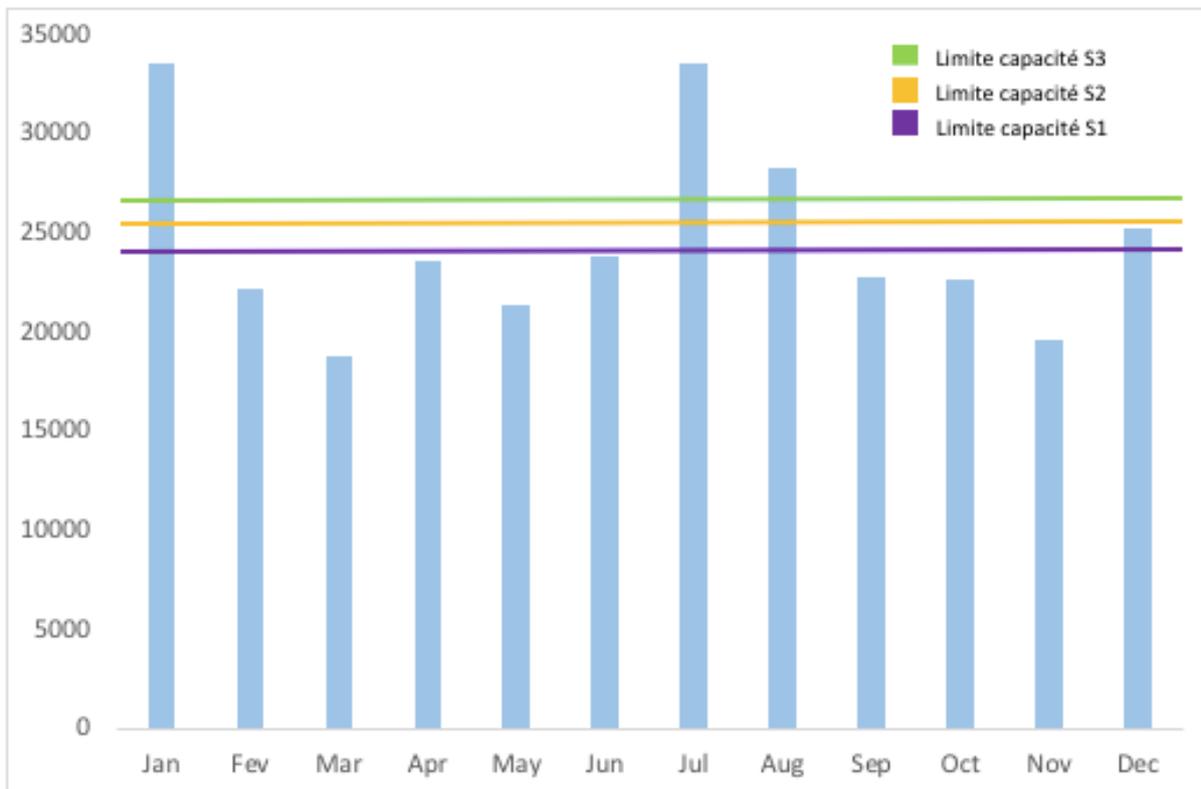


Finalement, nous pouvons conclure une nouvelle fois que la capacité d'espace de stockage vertical est un élément primordial à la baisse des coûts totaux d'opération de l'entrepôt. Lors de ce scénario, nous pouvons également observer une accentuation du phénomène remarqué lors du précédent, à savoir que la grande majorité des produits envoyés vers l'entrepôt externe ont une faible couverture d'inventaire mensuel moyenne et volume de palettes.

6.4 Récapitulatif

Les scénarios que nous avons effectués démontrent clairement que l'entreprise étudiée à cause de son environnement doit être capable d'exploiter au mieux l'espace en hauteur. Comme mentionné au début de notre étude, les coups au mètre carré étant très élevés à Taïwan, il est donc très important de pouvoir stocker le plus possible de produits sur un même mètre carré. Effectivement, comme le montre le graphique 23, ci-dessous, une meilleure utilisation de l'espace en hauteur va permettre d'augmenter, la capacité de stockage générale de l'entrepôt.

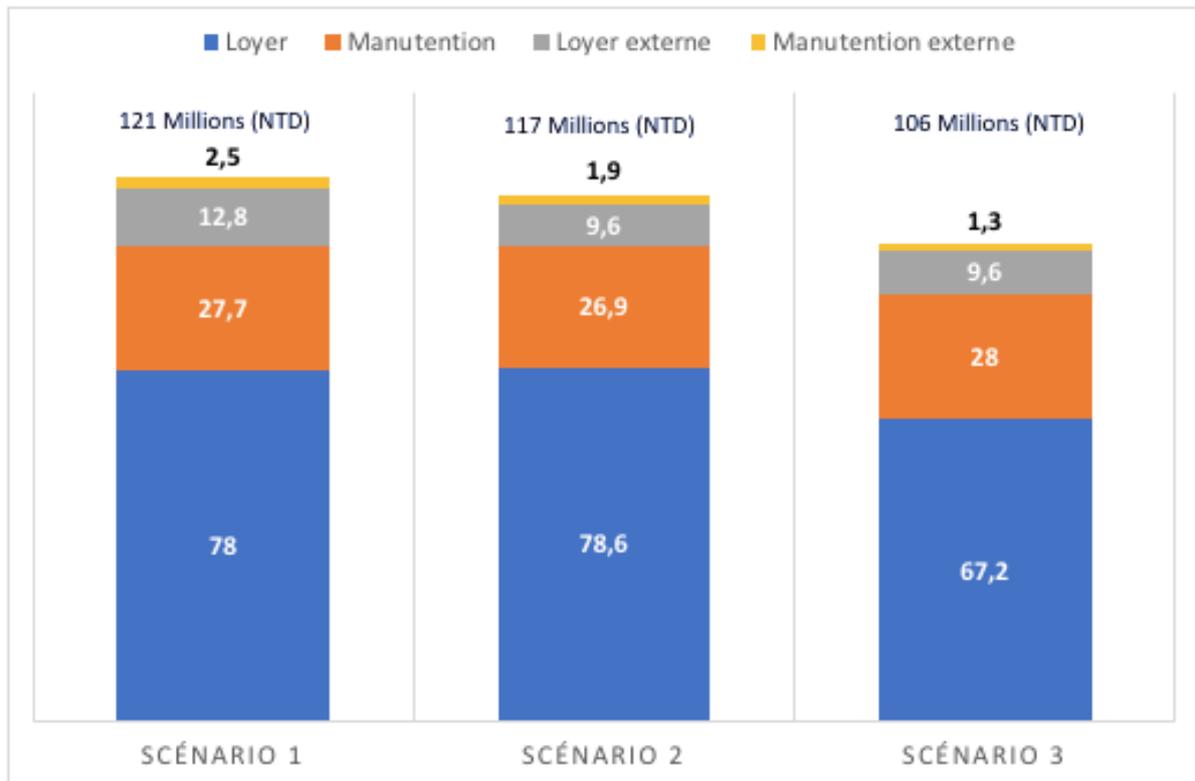
Graphique 23 : Récapitulatif de capacité de stockage par scénario (unité de palettes)



Effectivement au vu du graphique 24 il devient évident que les coûts de locations de l'entrepôt privé ont la part la plus importante sur le coût d'opération total. L'autre fait intéressant que nous pouvons étudier à l'aide de ce graphique est que malgré plusieurs scénarios

concernant la surface au sol, ainsi que l'espace en hauteur, les coûts de manutention ne varient que très peu.

Graphique 24 : Récapitulatif des coûts totaux par scénario (En million NTD)

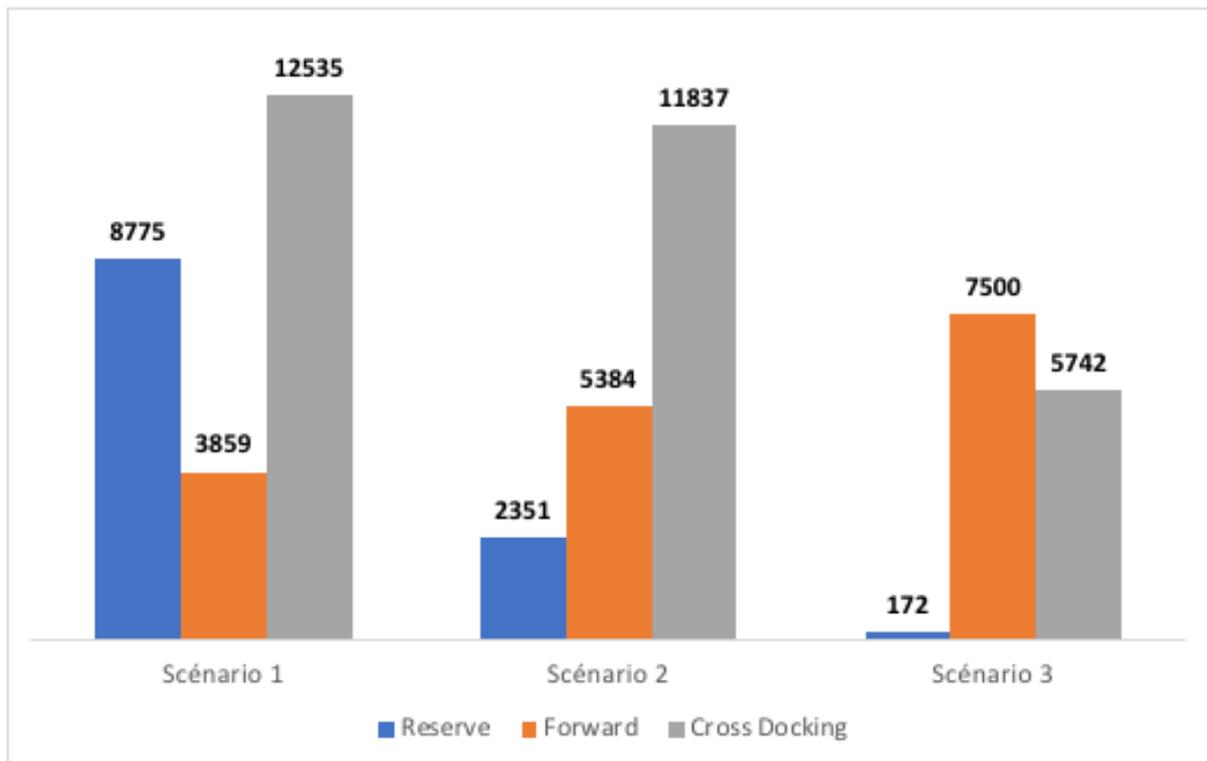


Si nous nous penchons la composition du type de classe de produit étant envoyé vers l'entrepôt externe, nous apercevrons une baisse constante du nombre de palettes allant à l'installation tampon durant les pics de saisonnalités. Nous avons également remarqué qu'à chaque baisse du volume total de produits stocké à l'externe, il en va d'une baisse importante du nombre de palettes avec un ratio de couverture d'inventaire mensuel élevé.

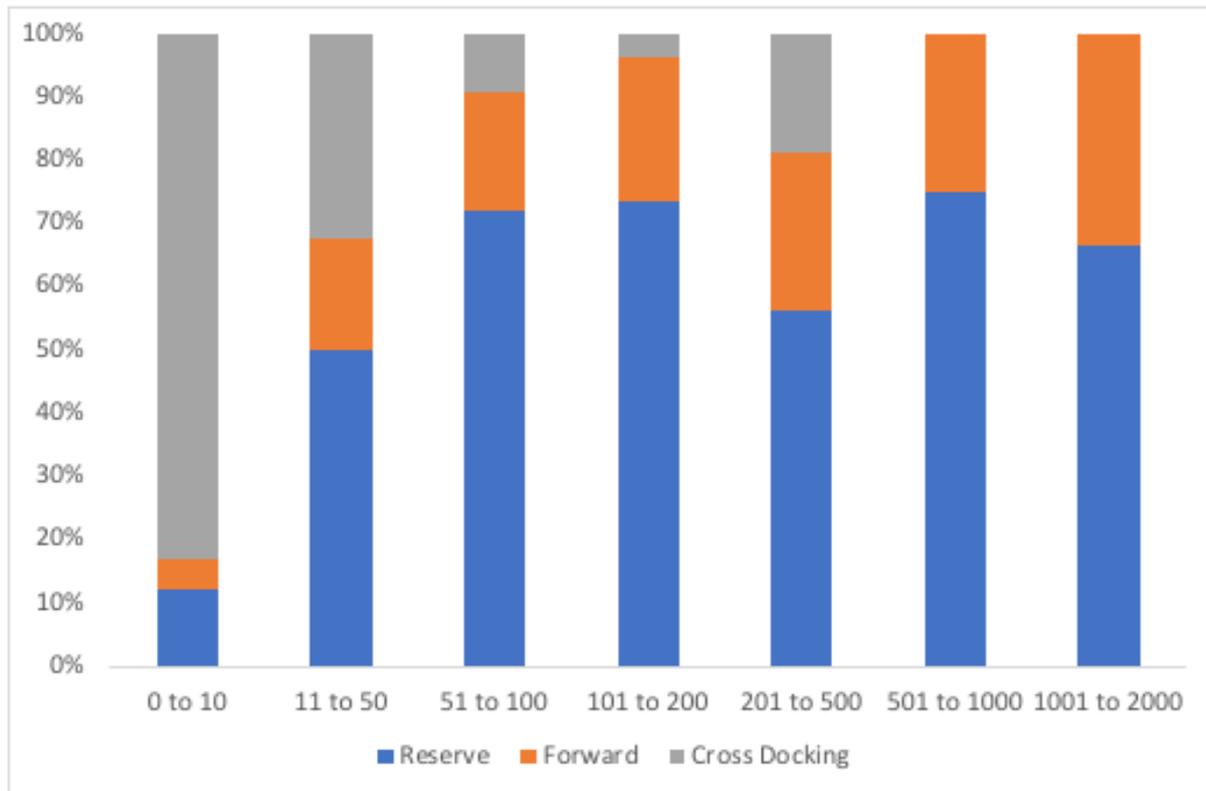
Cette constatation est appuyée par le graphique 25 qui dénote bien une baisse constante de l'envoi des classes de produits appartenant au flux de transfert « Reserve ». Or, comme il est exposé dans les graphiques 12, 17 et 21 présentant la répartition des classes de produits par ratio de couverture d'inventaire mensuel, plus ce dernier est élevé, plus la part des catégories de

marchandise du flux « Reserve » est importante. Nous déduisons donc que les classes envoyées à l'externe sont celles ayant une couverture d'inventaire mensuel plus courte. Par ailleurs, les classes ayant un volume important de demande sont également affectées à cette catégorie.

Graphique 25 : Récapitulatif des envois totaux vers entrepôt externe par type de flux (En palettes)



Graphique 26 : Répartition des classes par volume de la demande du (S3)



Au regard de ces deux observations, nous pouvons en conclure que le modèle va utiliser l'entrepôt externe pour les classes de produits ayant une faible couverture d'inventaire mensuel ainsi qu'une faible demande. Cette déduction semble logique au contenu du caractère saisonnier de l'activité de l'entreprise. Il serait en effet étonnant que l'entreprise choisisse de stocker à l'extérieur de ses infrastructures les produits ayant un fort volume d'activité ainsi qu'une période d'immobilisation importante. À noter qu'il aurait pu être intéressant de tenir compte de la valeur moyenne des produits pour choisir lesquels envoyer à l'extérieur. Effectivement plus la valeur du stock est importante, plus l'entreprise pourrait chercher à baisser ses risques en empêchant l'envoi de son stock à forte valeur vers l'extérieur.

Pour chacun de ces trois scénarios, nous avons cherché un meilleur moyen d'utiliser l'espace en hauteur, afin de diminuer soit l'espace au sol total nécessaire, pour ce qui est de l'entrepôt privé, ou le recours à l'entreposage externe. Finalement, les résultats financiers

démontrent que l'important est d'optimiser l'espace à détenir sous seing privé et non l'utilisation l'espace externe. Cependant, il ne faut pas oublier que le recours à des ressources externes pour stocker sa marchandise, ne facilite pas les opérations journalières.

Chapitre VII : Fractionnement de la période du problème

Les analyses réalisées lors de la section précédente ont mis en exergue une meilleure performance financière de la part du scénario 3. Les organisations présentées ont donné lieu à une solution avec une affectation fixe des classes de produits à travers chaque zone. Cette affectation fixe est désirée par l'entreprise, qui répond à un désir de faciliter l'organisation du travail à l'intérieur de l'entrepôt. Bien que la volonté de faciliter les opérations soit tout à fait compréhensible, nous avons voulu étudier l'impact d'autoriser le changement d'affectation des produits au cours de l'année. Pour que ce scénario soit envisageable à mettre en pratique, nous avons choisi d'autoriser ce changement après les 6 premières périodes du problème.

Afin d'étudier l'impact d'un tel changement, nous avons choisi d'utiliser la même configuration d'espace que dans le scénario 3. Nous appellerons scénario « 3a » le calcul de la période 1 à 6 et « 3b » la période 7 à 12. Pour ce faire, nous allons procéder à deux optimisations du modèle, l'une avec les données de la période « 3a » et l'autre avec les données de la période « 3b ».

7.1 Comparaison coûts Scénario 3 et Scénario 3a + 3b

L'intérêt de faire une telle comparaison est bien évidemment d'étudier la performance économique de chacun des scénarios. C'est pour cela que nous allons procéder dans un premier lieu à un état des coûts totaux des opérations.

Un premier regard concernant les coûts d'opération totaux nous démontre qu'après la période 6 du problème, la réaffectation des classes de produits, vers les zones d'entreposage

amènent à de meilleurs résultats financiers. Cette économie réalisée est exposée dans le tableau ci-dessous.

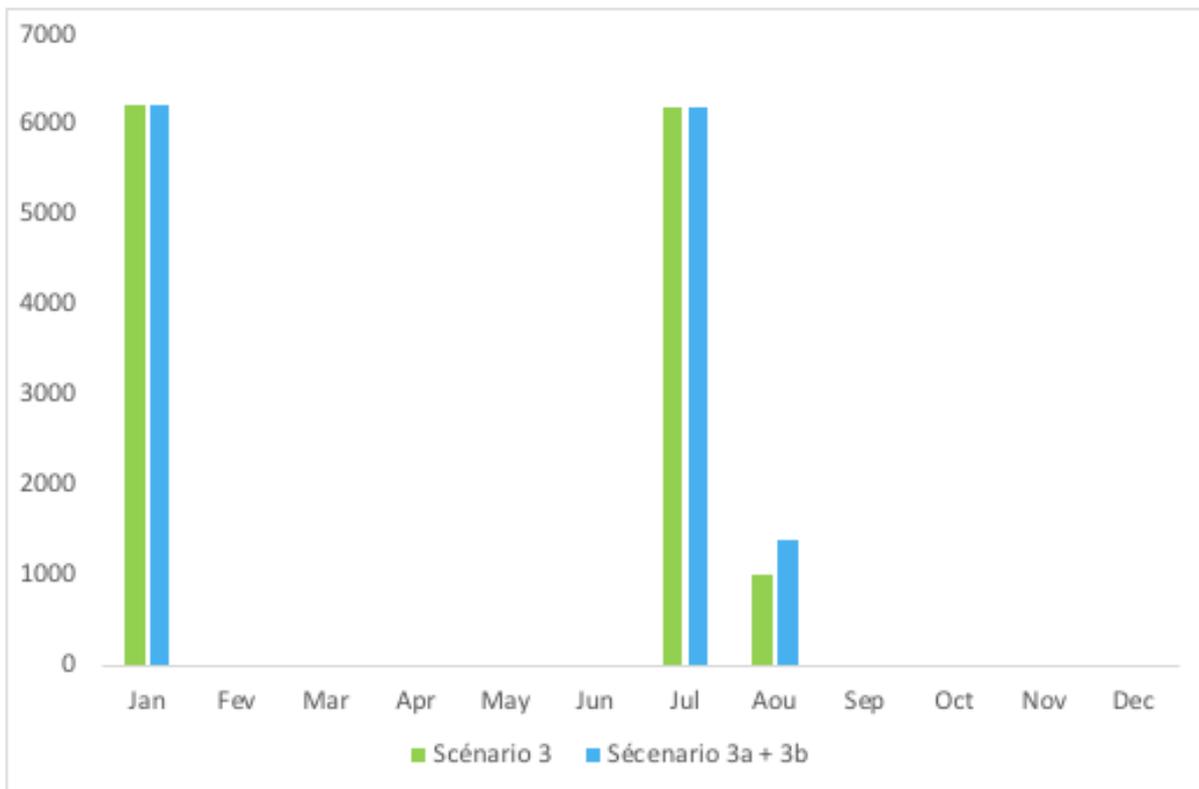
Tableau 4 : Comparaison des coûts totaux par scénario (En million NTD)

	3a (6 mois)	3b (6 mois)	3a + 3b	3 (12 mois)	Balance
Loyer	33,60	33,60	67,20	67,20	0,00
Manutention	13,16	14,84	28,00	28,44	-0,44
Loyer externe	3,20	6,40	9,60	9,60	0,00
Manutention externe	0,62	0,76	1,38	1,34	0,04
Cout Total	50,60	55,58	106,18	106,58	-0,40

Effectivement, il est donc possible de réaliser une économie très légère de 400 000 NTD, ce qui représente une baisse de 0,37% des coûts totaux d'opération. Comme montre le tableau ci-dessus, la réaffectation des classes, ne permet pas à elle seule ne permet pas de suppression d'utilisation de capacité de stockage externe.

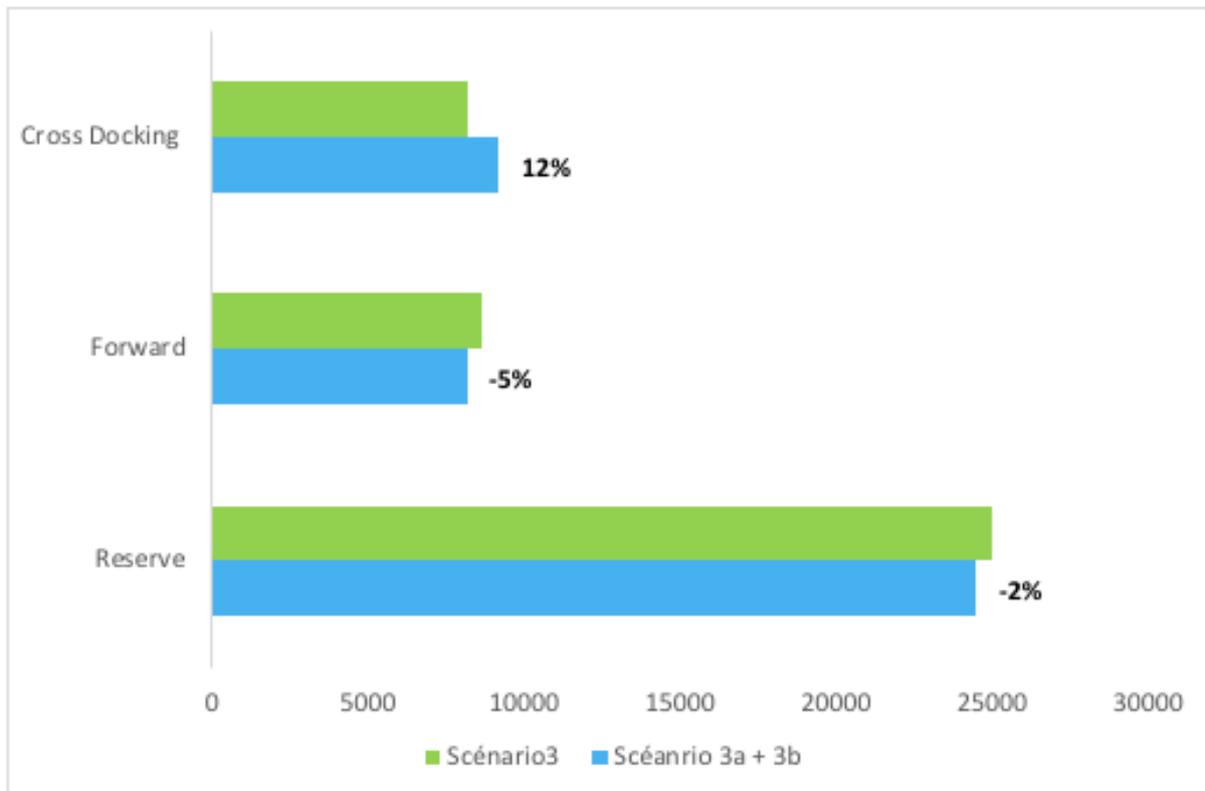
On remarque même une augmentation du nombre de palettes envoyées envoyé vers l'installation externe. Pour les périodes 1 (janvier) et 7 (juillet), ce nombre est exactement le même, la période 8 (aout) nécessite l'envoi de 389 palettes supplémentaires, soit 2,81% de plus sur l'ensemble de la période étudiée.

Graphique 27 : Comparatif nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe (S3 & S3a + 3b)



Comme nous avons pu le constater, la baisse du coût total d'opération ne vient pas d'une meilleure utilisation de la capacité externe. En réalité, cette économie réalisée vient d'une meilleure affectation des classes de produits à travers les zones de stockages. En comparant sur l'ensemble de la période étudiée, les moyennes mensuelles de palettes passant par chaque zone d'entreposage, nous remarquons une baisse de l'utilisation des flux « Reserve » et « Forward » plus dispendieuse en termes de coût de manutention liée aux déplacements des palettes au sein de l'installation. Les économies réalisées vont alors permettre de couvrir les dépenses supplémentaires conséquentes à plus grand nombre de palettes qui seront entreposées à l'extérieur du bâtiment de stockage.

Graphique 28 : Comparatif nombre de palettes par type de flux (S3 et S3a + 3b)

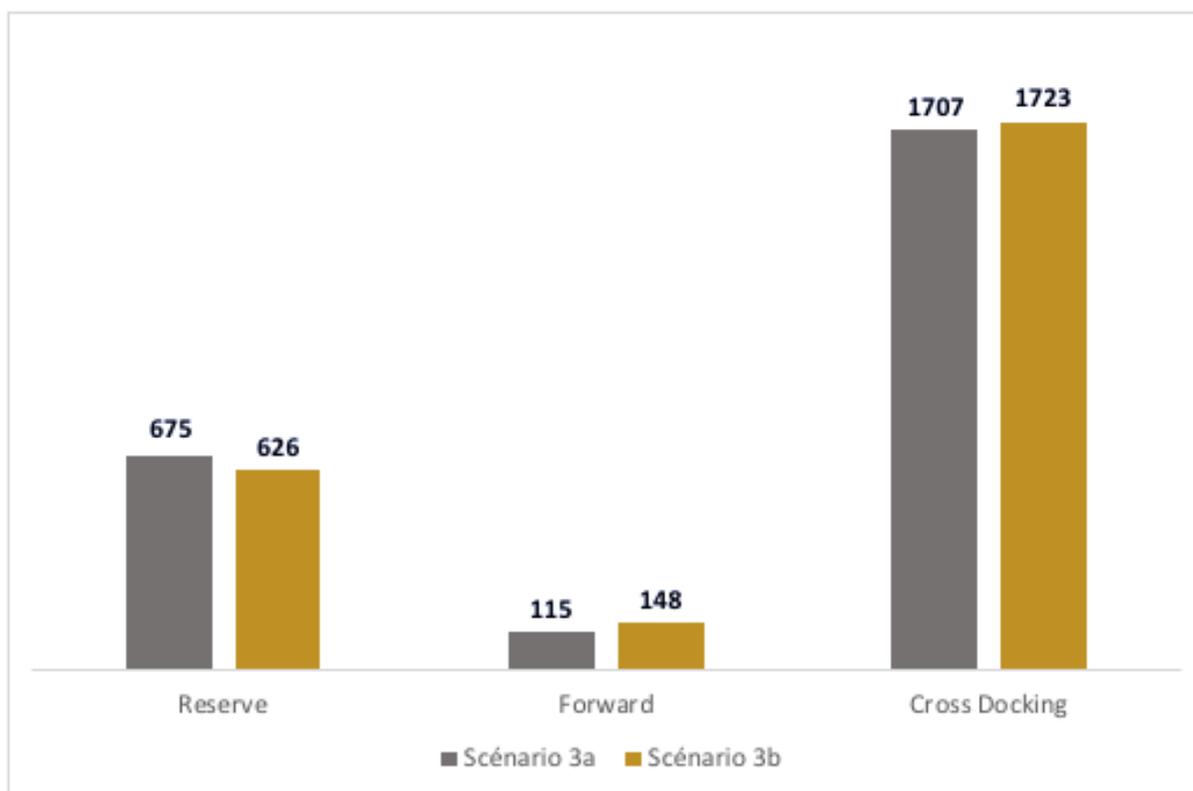


Les résultats de la fonction objective nous permettant l'obtention de résultats financiers de qualité supérieure, grâce notamment à une politique d'affectation des classes de produits améliorée, il devient intéressant d'observer plus en détail cette dernière.

7.2 La politique d'affectation scénario 3a et scénario 3b

La première étape afin de mettre en relief l'impact de la réaffectation à travers les flux de stockage, a été de comptabiliser le nombre de classes de produits passant d'un flux à un autre au cours de l'ensemble de la période étudiée. Pour finir, ce n'est pas moins de 578 (soit 23%) classes de produits qui se sont vus affectés à un autre type de zones de stockage. Il est important de souligner que les données et analyses présentées dans cette section seront uniquement basées sur ces 578 classes ayant connu une réaffectation.

Graphique 29 : Comparatif affectation à flux (S3a + 3b)



Pour comprendre la dynamique dans le changement de zone de stockage de ces 578 classes, nous allons étudier leurs demandes, l'impact de la saisonnalité ainsi que l'évolution de leur couverture d'inventaire mensuel d'inventaire.

Tableau 5 : Transfert des classes de produits à zones

Reserve to Forward	47
Reserve to Cross Docking	209
Forward to Reserve	39
Forward to Cross Docking	45
Cross Docking to Reserve	168
Cross Docking to Forward	70
Total	578

Le tableau ci-dessus nous donne un aperçu de l'impact de la réaffectation des produits à partir de la période 7 (juillet) du problème. Afin de bien comprendre ce tableau, nous allons prendre en exemple la première ligne de ce dernier,

Reserve to Forward	47
---------------------------	-----------

Cette ligne veut simplement dire qu'après le changement dans l'affectation des produits après la période 7 (juillet), 47 classes de produits ont été déplacées de la zone « Reserve » vers la zone « Forward ».

Une des premières observations que nous pouvons faire est le grand nombre d'échanges intervenant entre les zones « Cross Docking » et « Reserve ». La première envoie pas moins de 168 classes de produits vers la seconde. 209 classes font le chemin inverse. Si de tels résultats peuvent paraître étonnants, les analyses concernant la couverture d'inventaire mensuel moyenne viennent expliquer cette dynamique. Nous pouvons en effet constater que les produits passant de la zone « Reserve » à « Cross Docking » connaissent une forte baisse de leur cycle de 0,68 à 0,41 (-0,26). Dans le sens inverse, la dynamique est totalement opposée avec une moyenne passant de 0,45 à 0,63 (+0,18).

Tableau 6 : Évolution cycle d'inventaire moyen de la période 3a à 3b

	3a	3b	Balance
Reserve to Forward	0,81	0,58	-0,23
Reserve to Cross Docking	0,68	0,41	-0,26
Forward to Reserve	0,63	0,74	0,11
Forward to Cross Docking	0,48	0,43	-0,05
Cross Docking to Reserve	0,45	0,63	0,18
Cross Docking to Forward	0,48	0,45	-0,03
Total	0,59	0,54	-0,05

Contenu du type d'opérations de chacune des zones, ces résultats ne sont plus vraiment surprenants. Il serait maintenant intéressant de traduire cette information en conséquence en termes de palettes. Effectivement même si un grand nombre de changements d'affectation est intervenu entre ces deux flux de stockage, l'impact sur le nombre de palettes transitant à travers ces dernières est peut-être négligeable.

Tableau 7 : Nombres de palettes sur les Périodes 3a et 3b

	3a	3b	Balance
Reserve	3789	4293	504
Forward	4507	4787	279
XD	2666	3567	900
Total	10963	12647	1684

Avant toute chose il faut préciser que d'une période à une autre, la moyenne mensuelle de palettes passant par ces 578 classes augmente de 1684 unités. La majorité de cette demande additionnelle est absorbée par le flux « Cross Docking ». Cette absorption d'un plus grand

nombre de palettes peut être expliquée par une accélération de la couverture d'inventaire mensuel des classes passant de ce type de flux pour les périodes 7 (juillet) à 12 (décembre).

Bien qu'intéressante en termes de compréhension et de validation du modèle proposé, cette analyse de l'impact quant à l'autorisation de la réaffectation des classes de produits n'est guère satisfaisante pour ce qui est de la performance économique des opérations. Il est imaginable qu'une baisse de 0,37% du coût total d'opération ne vienne pas contre-balancer, les difficultés dans le maniement de ce changement, ainsi que de potentiel bris de marchandise au cours des opérations de déplacement de celle-ci. De plus, l'entrepôt reçoit des commandes de ses fournisseurs tous les jours de l'année, il se pourrait donc que le déplacement de ces 12 647 palettes se fasse durant la soirée, ce qui viendrait rajouter des coûts non comptabilisés dans notre calcul, par exemple les taux horaires de nuit.

Chapitre VIII : Analyse avec augmentation du nombre de détaillants

Pour donner suite à l'analyse des résultats financiers concernant les différentes configurations présentées lors de la section précédente, il nous est clairement apparu que la troisième option est la plus avantageuse concernant les coûts totaux. Comme cela a été mentionné au départ de cette recherche, l'entreprise étudiée souhaiterait éventuellement accroître le nombre de ses magasins de détail. Il nous a donc semblé logique d'étudier l'impact de cette croissance, en se basant sur la configuration d'espace présentant les meilleurs résultats.

8.1 Croissance des détaillants

Lorsque l'entreprise nous a fait part de son projet concernant la stratégie à suivre relatif au futur de ses entrepôts, il nous a clairement été mentionné qu'une croissance du nombre de magasins détaillants était envisagée par la direction. Une possible croissance de la quantité de marchandises devant passer par le futur entrepôt est alors envisageable. Nous étudierons cet impact sur le réseau de distribution en ajoutant :

- 30 Supermarchés (809 palettes reçues en moyenne sur une année)
- 4 Hypermarchés (15 267 palettes reçues en moyenne sur une année)

Comme expliqué dans la section 3.1, la typologie des magasins est définie par sa surface de vente. Il est donc évident qu'ajouter un magasin qu'il soit un supermarché ou un hypermarché aura un impact différent en termes de volume ainsi qu'en termes de nombre de référence SKU.

Ayant connaissance de ce fait, la première étape à laquelle nous avons procédé a été de définir la demande mensuelle moyenne pour chaque typologie de magasin et pour chacun des produits. L'entreprise ayant une demande avec une forte saisonnalité nous n'avons pas procédé à une moyenne annuelle de la demande.

Tableau 8 : Demande mensuelle moyenne par typologie de magasin de détail

AVERAGE DEMAND FOR HYPERMARKET												
Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
100000	3,08	4,23	2,34	5,76	4,68	4,54	5,57	7,32	4,68	2,30	3,41	4,38
100010	2,26	2,74	1,66	1,66	2,30	3,75	4,67	8,86	2,77	2,30	1,85	2,12
100020	24,71	27,02	7,29	6,09	8,14	18,40	31,28	37,95	13,28	6,65	4,37	4,50
100100	0,82	1,17	0,84	1,02	1,07	1,13	1,66	4,35	1,51	1,31	0,89	0,76
100110	0,58	0,44	0,38	0,34	0,47	0,43	0,92	0,95	0,48	0,54	0,50	0,42
100120	0,66	0,79	0,44	0,43	0,52	0,65	0,82	1,03	0,76	0,68	0,43	0,61

AVERAGE DEMAND FOR MINIHYPER												
Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
100000	0,17	0,04	0,60	2,42	1,01	0,04	0,00	0,08	0,08	0,12	0,21	0,89
100010	0,32	0,10	0,44	0,23	0,24	0,36	0,23	0,53	0,03	0,20	0,11	0,28
100020	0,09	0,06	0,26	0,20	0,60	0,78	0,24	0,18	0,28	0,09	0,34	0,04
100100	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02	0,06	0,06	0,05	0,02
100110	0,02	0,06	0,05	0,09	0,05	0,08	0,09	0,58	0,09	0,10	0,09	0,08
100120	0,01	0,03	0,02	0,07	0,00	0,01	0,08	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02

AVERAGE DEMAND FOR SUPERMARKET												
Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
100000	0,80	0,66	0,61	1,52	0,85	0,94	1,58	1,57	0,99	0,80	0,83	0,87
100010	0,53	0,26	0,36	0,31	0,43	0,73	0,98	1,29	0,54	0,53	0,37	0,51
100020	1,51	0,63	0,66	0,95	1,30	3,51	4,42	3,72	1,42	1,22	0,97	0,87
100100	0,13	0,05	0,15	0,17	0,15	0,18	0,36	0,60	0,24	0,23	0,19	0,17
100110	0,07	0,04	0,06	0,07	0,07	0,09	0,16	0,12	0,08	0,11	0,08	0,11
100120	0,09	0,10	0,10	0,07	0,09	0,11	0,12	0,09	0,16	0,13	0,09	0,09

Le tableau ci-dessus nous démontre clairement que la demande pour un même produit est complètement différente d'une typologie à une autre. Il est à noter ici que la demande pour un produit n'est pas pour l'instant arrondie au supérieur. Évidemment, une moitié de palette prendra une cellule de stockage entière et non une moitié de cellule. Cependant, les données présentées ci-dessus font état de la demande moyenne pour un magasin de chaque typologie. Donc si par exemple 10 magasins ont une demande de 0,5 palette, lors de la solidification de la demande finale un total de 5 palettes apparaîtra. D'un autre côté si 10 magasins ont une

demande de 0,45 palette le nombre de cellules de stockage à réserver sera également de 5 palettes (4,5 palettes = 5 palettes).

Une fois ces données calculées, nous avons pu nous rendre compte que l'impact de l'ajout de 34 magasins de détail aurait pour impact d'augmenter la demande annuelle totale de 10,54%, passant d'un total de 496 269 palettes à 554 798 palettes soit un total de 58 529 palettes supplémentaires. L'élément qui nous intéresse le plus est de connaître l'impact de cette augmentation de la demande totale sur les périodes de saisonnalités.

Tableau 9 : Impact de la croissance du nombre détaillants sur les périodes de saisonnalités

	Jan	Jul	Aou	Dec
Avant Croissance	60 755	63 432	55 578	43 937
Après Croissance	65 731	68 784	62 780	48 295
Différence	4 976	5 352	7 202	4 358

Le premier constat que nous pouvons tirer de cette analyse est que les périodes de saisonnalités viennent absorber 37,39% de l'augmentation de la demande totale sur l'ensemble de la période étudiée. Cette observation est tout à fait logique et vient en confirmation des données étudiées tout au long de cette recherche.

Il est à noter ici que nous n'avons pas pu prendre en considération la croissance des activités actuelles de l'entreprise. En effet, l'entreprise pour diverses raisons telles que l'utilisation d'un même code-barres pour différents produits d'une année sur l'autre serait venue alourdir de façon beaucoup trop démesurée le nettoyage des données de la demande. De son côté, l'entreprise a souhaité ajouter comme croissance les objectifs fixés par la maison mère de

l'entreprise afin de faciliter leur prise de décision. Il est également à souligner que l'extraction des données correctes de la demande a demandé à l'entreprise un temps considérable au manager des entrepôts.

Une fois le traitement de données de la demande modifié en conséquence de la croissance du nombre de détaillants, nous avons procédé à l'exécution du scénario 4, qui prendra en compte la nouvelle demande totale ainsi que la configuration de l'espace de stockage présentée dans le scénario 3.

8.2 Scénario 4 : Avec croissance du nombre de détaillants

Comme il a été mentionné précédemment, ce nouveau scénario, utilisera la configuration définie dans le scénario 3, à savoir, un espace total de stockage de 30 500 mètres carrés organisé de la façon suivante :

- **Reserve** : 21 000 mètres carrés (espace vertical 5 palettes)
- **Forward** : 5 500 mètres carrés (espace vertical 3 palettes)
- **Cross Docking** : 4 000 mètres carrés (espace vertical 1 palette)

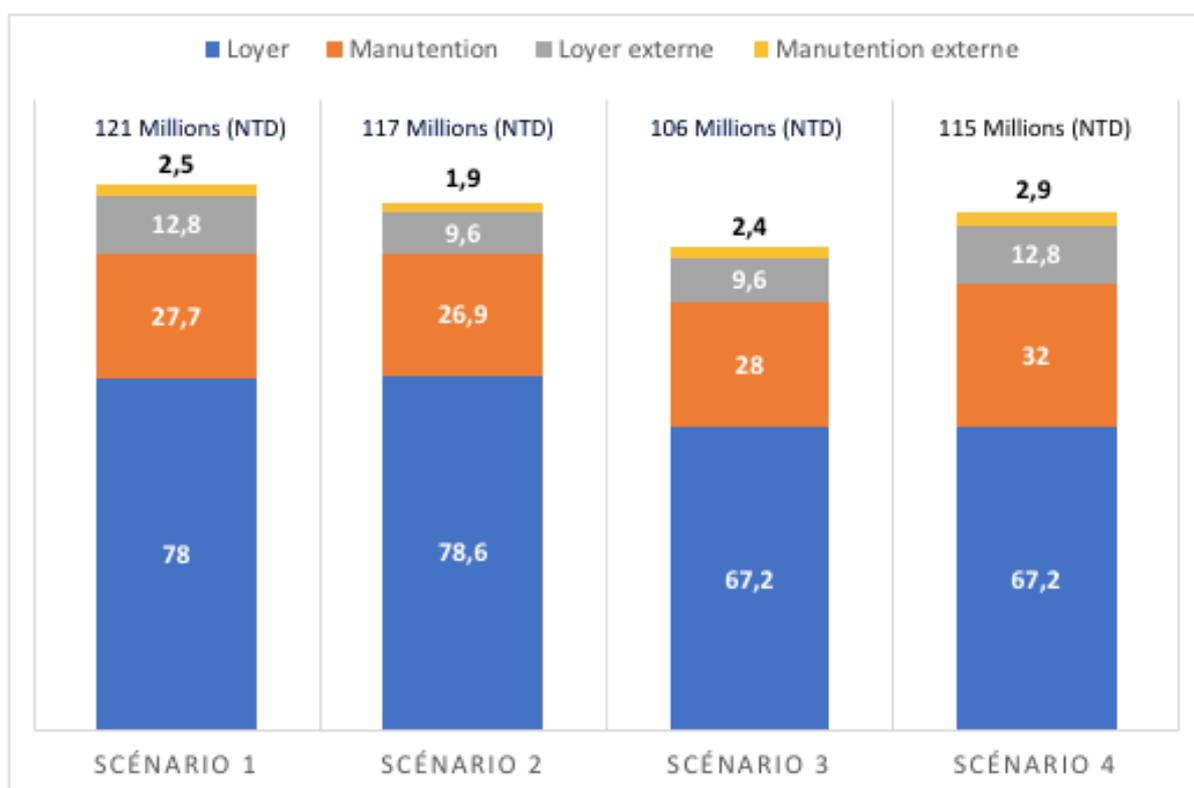
Les résultats du scénario 4 nous exposent un montant total de 115 068 201.7 NTD pour les coûts d'opération. Nous fûmes en mesure de trouver cette solution à 0.00% de la solution optimale après 520 630 itérations. La répartition des coûts avec cette augmentation de la demande se présente tel qui suit :

- Loyer : 67 200 000 NTD

- Coût de manutention : 32 572 501 NTD
- Coût utilisation entrepôt externe : 12 800 000 NTD
- Coût de manutention lié à entrepôt externe : 2 495 700 NTD

Le premier commentaire que nous sommes en mesure de faire, d'après la lecture des résultats est que malgré une augmentation de 10,54 % du volume d'inventaire transitant par le nouveau bâtiment, le coût total d'opération reste moins élevé que pour les scénarios 1 et 2. Le graphique 30 présenté ci-dessous met en exergue ce fait.

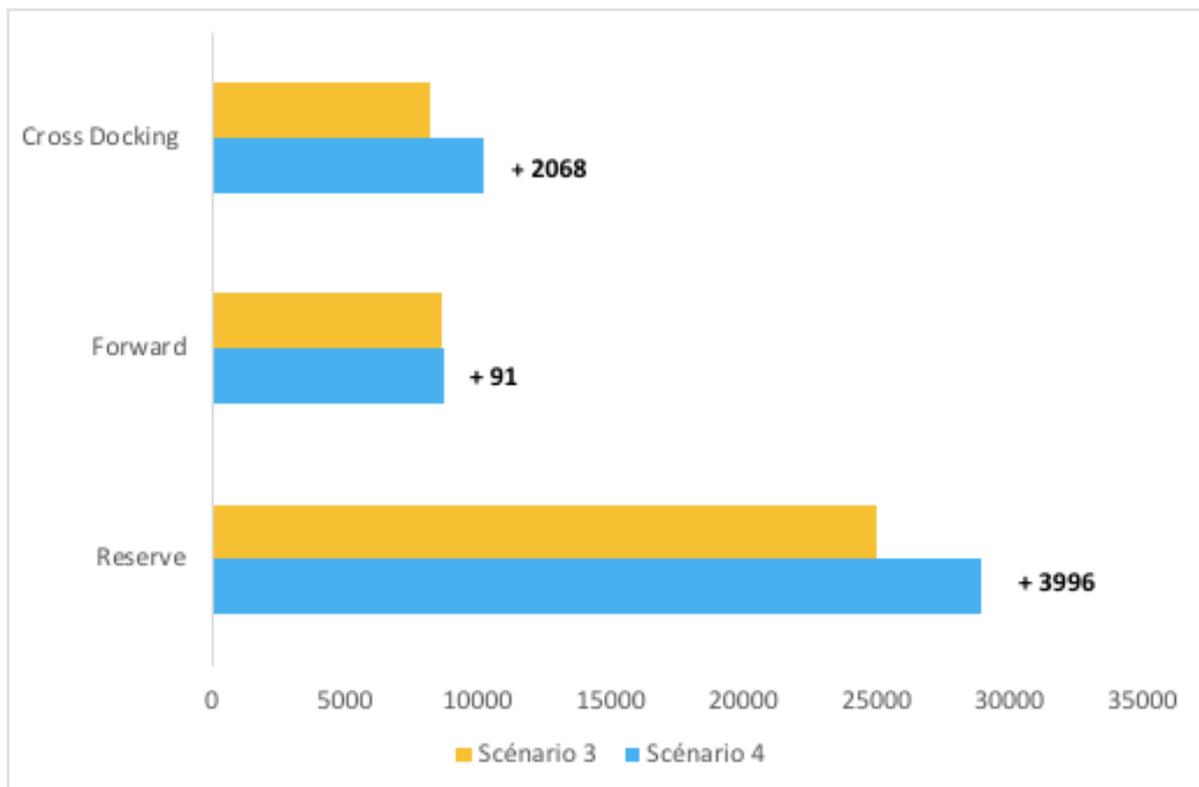
Graphique 30 : Récapitulatif des coûts totaux par scénario (En million TWD)



Ce résultat est de nouveau expliqué par la baisse importante du loyer de l'entrepôt privé. Cette réduction du coût de location vient largement couvrir les dépenses supplémentaires en termes de manutention. Nous pouvons observer que les frais en termes de manutention liés aux

déplacements de la marchandise à l'intérieur de l'installation privée ont augmenté de 13,93%, alors que les stocks ont eu connue une croissance de 10,54%.

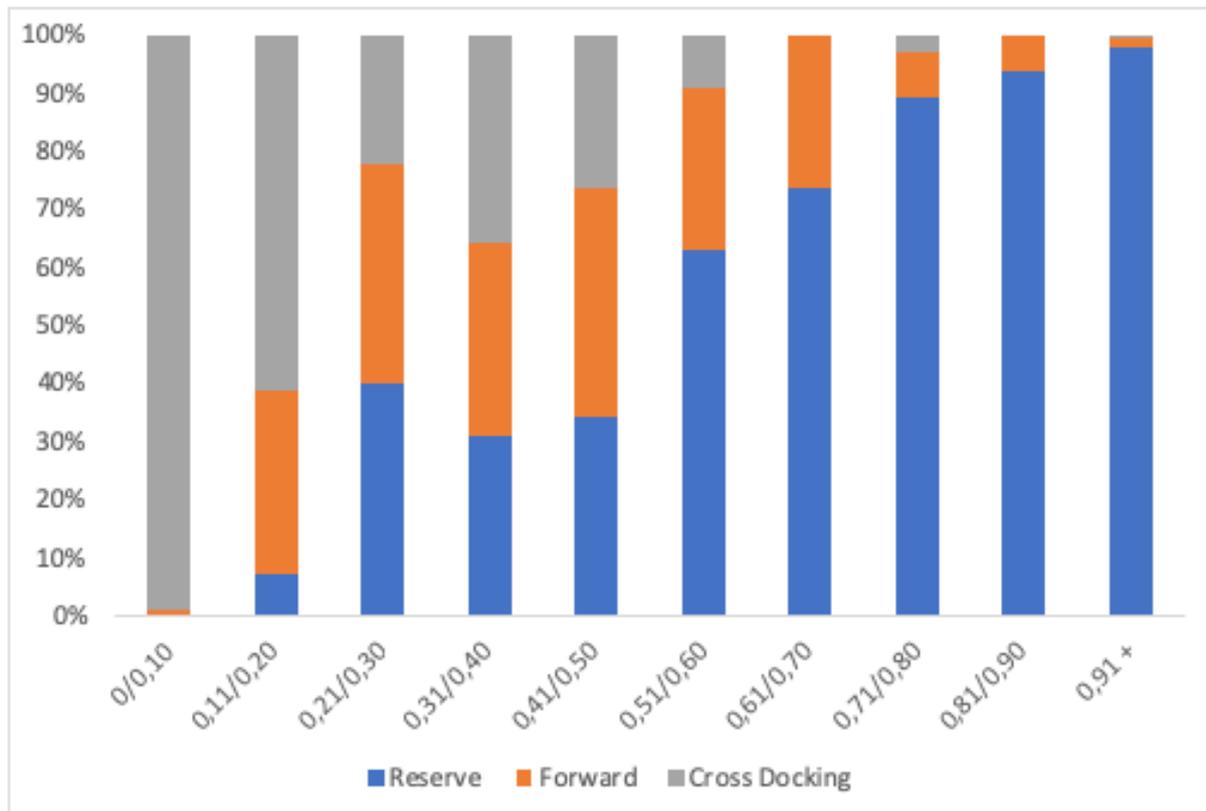
Graphique 31 : Comparaison de la moyenne mensuelle de palettes par type de zone pour la période étudiée (S 3 & 4)



Le graphique 31, explique cette augmentation plus importante du pourcentage du coût de manutention comparativement à la croissance des stocks. Comme expliqué précédemment, les coûts de déplacement d'une palette dans la zone « Reserve » sont plus importants que ceux de la zone « Cross Docking ». Ceci est notamment expliqué par des déplacements plus longs et un type de matériel plus cher. Parce que la zone « Reserve » vient absorber le plus grand volume de la croissance des stocks (augmentation de 3 996 palettes), il est normal que le ratio des coûts de manutention augmente, plus rapidement que celui des flux entrants de marchandise.

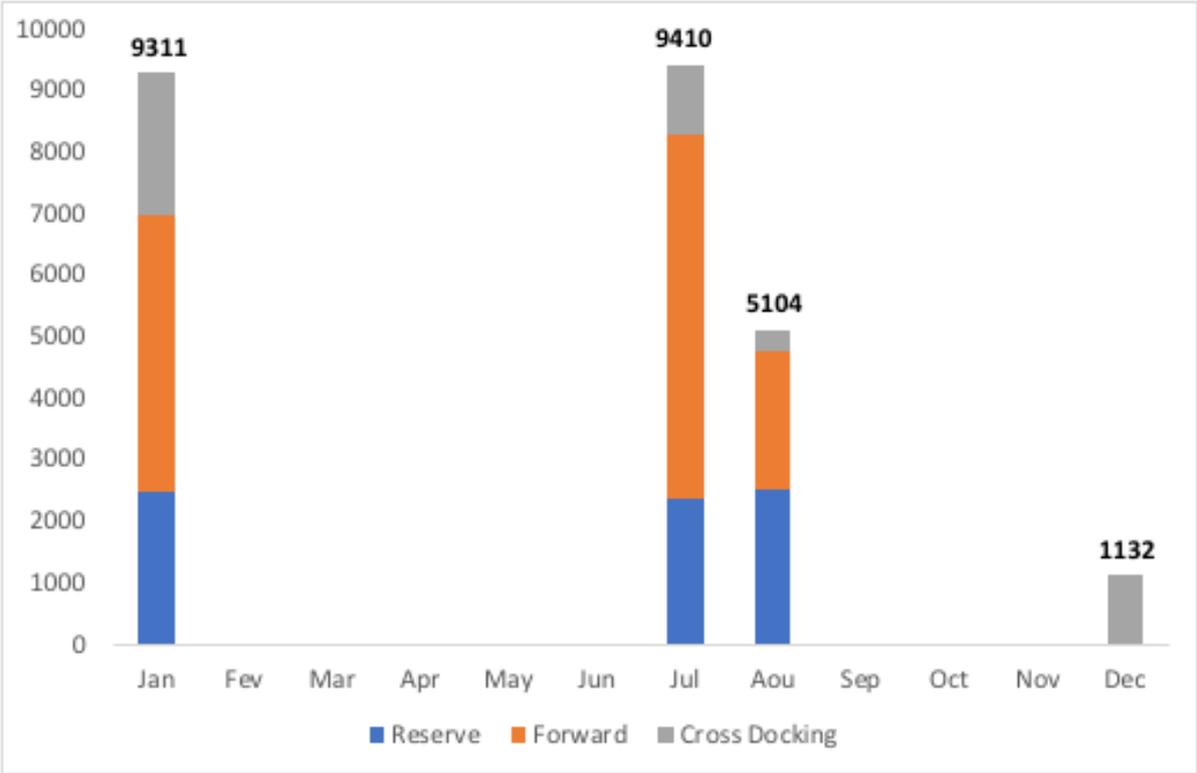
Par ailleurs, concernant la dynamique de répartition des classes de produit par rapport au cycle d'inventaire, suit la logique présente dans les scénarios précédentes, à savoir, les produits ayant un faible taux moyen de la couverture d'inventaire mensuel se retrouveront dans le flux « Cross Docking », ceux avec un taux plus long iront dans le flux « Reserve ».

Graphique 32 : Répartitions des classes de produits par ratio de la couverture d'inventaire

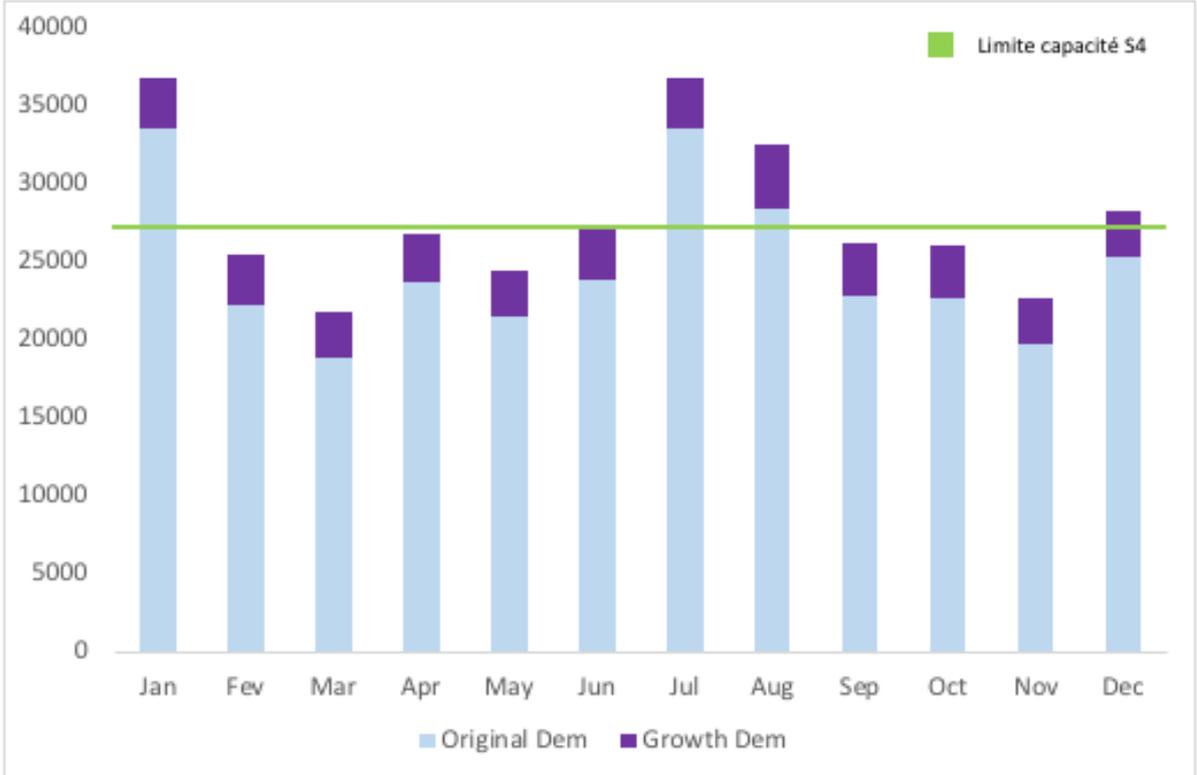


Enfin, il faut tout de même noter que l'augmentation de la demande est venue ajouter une période d'utilisation d'entreposage externe supplémentaire, comparativement aux résultats du scénario 2. Cependant comme mentionné dans le chapitre précédent, l'utilisation de l'installation externe n'est pas synonyme de mauvaise performance économique. Dans le scénario 2, malgré une utilisation moins fréquente de l'entrepôt tampon, ainsi qu'une demande moins importante, les coûts totaux sont plus élevés que dans ce scénario.

Graphique 33 : Nombre de palettes envoyé vers entrepôt externe pour (S4)



Graphique 34 : Récapitulatif de capacité de stockage par unité de palettes (S4)



Pour conclure, nous pouvons donc estimer que l'utilisation de la configuration de l'espace total de stockage présentée dans le scénario 3 pourrait être une option de qualité pour l'entreprise et permettrait d'atteindre une performance économique supérieure à l'organisation actuelle et encore plus après la croissance du nombre de magasins détenus par l'entreprise.

Chapitre IX : L'entreprise et le modèle

Bien qu'il soit intéressant d'apporter la preuve que financièrement le modèle est capable d'apporter des économies, il n'en demeure pas moins que ce dernier ne sera utile à l'entreprise que si elle est capable de pouvoir l'utiliser comme un outil d'aide à la décision dans sa quête d'un nouvel entrepôt.

L'entreprise aujourd'hui n'a toujours pas déménagé dans un nouvel entrepôt, mais est dans une démarche de prospection. Lors de ma présence sur place le directeur des opérations m'a convié à plusieurs rendez-vous avec des entreprises ayant proposé des solutions à ce dernier. Lors de ces rencontres, plusieurs solutions ont été envisagées, tout d'abord est venue la possibilité de faire affaire avec une entreprise proposant de louer un entrepôt déjà construit, cette solution fut immédiatement refusée par la direction de l'entreprise, car elle considérait les coûts de location de l'installation bien au-dessus des prix actuels du marché. Une autre solution proposée était de tout simplement de construire un nouvel entrepôt sur un terrain inoccupé. Un des avantages de cette solution est de continuer de faire affaire avec l'entreprise 3PL actuellement contractée par l'entreprise qui serait chargée de la construction du nouveau bâtiment.

Dans les deux cas présentés ci-dessus, le modèle développé est d'une grande utilité pour l'entreprise. Que ce soit avec les plans de construction d'un nouvel entrepôt ou ceux d'un déjà existant, le modèle donne la possibilité de procéder à des analyses de scénarios afin de connaître les implications opérationnelles d'un déménagement dans un nouveau lieu. De plus, ce dernier est très maniable et permet de changer certains paramètres tels que l'espace total, l'espace disponible pour chaque zone, ainsi que l'espace en hauteur très facilement. En plus de donner des indications claires sur les conséquences d'un déménagement en ce qui concerne l'utilisation

de l'entreposage externe, il permet à l'entreprise de mener une vraie réflexion sur l'affectation des classes de produits sur la congestion de la capacité totale de stockage que possède l'entreprise. Effectivement, l'analyse de données effectuée lors de cette recherche a mis en évidence une possibilité concernant certains produits restants éventuellement trop longtemps à l'intérieur du système d'entreposage, venant donc à l'encontre de l'objectif à atteindre de l'entreprise.

Cette réflexion aurait pu prendre davantage d'importance si nous avions inclus dans notre modèle un coût lié au coût pondéré du capital, tenant compte des immobilisations dans l'affectation des classes de produits à travers les zones. Malheureusement, la politique de confidentialité de l'entreprise ne nous permet pas l'accès aux données concernant le prix d'achat du stock et du coût pondéré du capital de l'entreprise. Cette information aurait très certainement eu un impact sur l'affectation des produits vers les zones de stockage, afin de réaliser des économies d'immobilisation.

Une troisième option fut envisagée, les entrepôts à plusieurs étages. Malgré la viabilité de notre modèle étant prouvé, son utilité pour l'entreprise dans ce recours à celui-ci n'était pas complètement envisageable. Il est clair que dans un tel cas l'utilisation d'ascenseurs afin de déplacer une palette d'un étage à un autre viendrait modifier de façon drastique la façon de calculer les coûts de manutentions liés au déplacement de la marchandise. Mis à part des modifications importantes concernant les coûts, le modèle aurait tout de même pu fonctionner quant à l'affectation et la détermination de la taille des zones.

Conclusion

Au cours de cette recherche, nous nous sommes attelés à développer un modèle facilement utilisable pour une grande entreprise du commerce de détail à Taïwan, afin de soutenir sa démarche stratégique concernant sa politique d'entreposage. Cette entreprise voulait effectivement déménager dans un entrepôt contenant une capacité de stockage suffisante, pour faire face aux pics d'activités saisonnières et à la croissance du nombre de ses magasins. Tenant compte de ces éléments le modèle développé a pu être utilisé dans l'étude de différents scénarios, concernant l'organisation des espaces de stockage concernant aussi bien la surface au sol, l'espace en hauteur ainsi que l'utilisation de capacité de stockage externe. En fin de compte, les résultats obtenus par la fonction objective du problème nous ont démontré qu'avec une affectation cohérente des produits, tenant compte de la couverture moyenne d'inventaire et la demande à travers les flux de stockage, pouvaient amener à des résultats économiques de très bonnes qualités. De plus, ce modèle étant très facilement adaptable est devenu un outil d'aide à la décision pour l'entreprise qui a continué de l'utiliser afin de prendre des décisions concernant son futur entrepôt. Aux dernières nouvelles, l'entreprise avait déjà passé plusieurs entretiens à la commission chargée de valider ou non l'investissement vers un nouvel entrepôt. Avant cela, un site potentiel avait été refusé à cause de sa mauvaise localisation.

Plusieurs améliorations ou pistes de recherche pourraient être apportées à cette recherche. Dans un premier temps, il aurait été intéressant de tenir compte du coût pondéré du capital, afin de prendre en considération le coût des immobilisations dans l'affectation des classes de produits à travers les zones. En effet, il aurait été pertinent de connaître cette information, afin de transférer certains produits ayant une valeur importante, vers la zone « Cross Docking », afin de réaliser des économies d'immobilisation. Dans notre cas, nous n'avons pas pu procéder à cette étude pour des raisons liées à la politique de confidentialité de

l'entreprise, nous empêchant d'avoir l'accès aux données concernant le prix d'achat du stock et du coup pondéré du capital de l'entreprise. Une autre amélioration à l'étude aurait été d'ajouter une problématique concernant la localisation de la nouvelle installation. Cependant, son utilité aurait été minorée, du fait qu'à Taïwan, il existe des zones spécifiques afin de construire ce type de bâtiment. Donc le panel de choix concernant la localisation aurait été limité, alors que les espaces disponibles comprenant suffisamment d'espace, pour construire un entrepôt est extrêmement rare.

Bibliographie

- ASHAYERI, J. & GELDERS, L. 1985. Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research*, 21, 285-294.
- BHASKARAN, K. & MALMBORG, C. J. 1990. Economic tradeoffs in sizing warehouse reserve storage area. *Applied Mathematical Modelling*, 14, 381-385.
- BIREM, S. 2016. Une méthode de reconfiguration saisonnière des zones de préparation de commandes d'un centre de distribution. M.Sc., HEC Montréal.
- CHIANG, D. M.-H., LIN, C.-P. & CHEN, M.-C. 2011. The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centres. *Enterprise Information Systems*, 5, 219-234.
- CHOPRA, S. & MEINDL, P. 2007. Supply chain management. Strategy, planning & operation. *Das summa summarum des management*. Springer.
- CORMIER, G. & GUNN, E. A. 1992. A review of warehouse models. *European Journal of Operational Research*, 58, 3-13.
- DE KOSTER, R., LE-DUC, T. & ROODBERGEN, K. J. 2007. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182, 481-501.
- GERALDES, C. A., CARVALHO, M. S. F. & PEREIRA, G. A. A warehouse design decision model—Case study. Engineering Management Conference, 2008. IEMC Europe 2008. IEEE International, 2008. IEEE, 1-5.
- GILL, A. A Warehousing Option Model in Supply Chain Management. ASAC, 2009.
- GOH, M., JIHONG, O. & CHUNG-PIAW, T. 2001. Warehouse sizing to minimize inventory and storage costs. *Naval Research Logistics (NRL)*, 48, 299-312.
- GOYAL, S. 1978. A note on “Multi-product inventory situations with one restriction”. *Journal of the Operational Research Society*, 29, 269-271.
- GU, J., GOETSCHALCKX, M. & MCGINNIS, L. F. 2007. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177, 1-21.
- GU, J., GOETSCHALCKX, M. & MCGINNIS, L. F. 2010. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203, 539-549.
- HAUSMAN, W. H., SCHWARZ, L. B. & GRAVES, S. C. 1976. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science*, 22, 629-638.

- HERAGU, S. S., DU, L., MANTEL, R. J. & SCHUUR, P. C. 2005. Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43, 327-338.
- HSIEH, L.-F. & TSAI, L. 2006. The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 626-637.
- HUANG, S., WANG, Q., BATTÀ, R. & NAGI, R. 2015. An integrated model for site selection and space determination of warehouses. *Computers & Operations Research*, 62, 169-176.
- HUNG, M. & FISK, J. C. 1984. Economic sizing of warehouses: A linear programming approach. *Computers & Operations Research*, 11, 13-18.
- JOHNSON, M. E. 2001. Learning from toys: Lessons in managing supply chain risk from the toy industry. *California Management Review*, 43, 106-124.
- KOVÁCS, A. 2011. Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics. *International Journal of Production Economics*, 133, 312-318.
- LE-DUC*, T. & DE KOSTER, R. B. 2005. Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research*, 43, 3561-3581.
- LEE, H. F. & SCHAEFER, S. K. 1997. Sequencing methods for automated storage and retrieval systems with dedicated storage. *Computers & Industrial Engineering*, 32, 351-362.
- LEE, M.-K. 2001. Warehouse Storage Capacity with Leased Space for Different Storage Policies. *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 27, 328-336.
- LEE, M.-K. & ELSAYED, E. 2005. Optimization of warehouse storage capacity under a dedicated storage policy. *International Journal of Production Research*, 43, 1785-1805.
- MALMBORG, C. J. 1996. Storage assignment policy tradeoffs. *International Journal of Production Research*, 34, 363-378.
- MELACHRINOUDIS, E. & MIN, H. 2007. Redesigning a warehouse network. *European Journal of Operational Research*, 176, 210-229.
- MOHSEN & HASSAN, M. 2002. A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20, 432-440.
- MUPPANI, V. R. & ADIL, G. K. 2006. Formation of storage classes in the presence of space cost for warehouse planning. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 1, 286-303.
- ÖNÜT, S., TUZKAYA, U. R. & DOĞAÇ, B. 2008. A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 783-799.

- PAGE, E. & PAUL, R. 1976. Multi-product inventory situations with one restriction. *Journal of the Operational Research Society*, 27, 815-834.
- PETERSEN, C. G. & AASE, G. 2004. A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92, 11-19.
- RAO, A. & RAO, M. 1998. Solution procedures for sizing of warehouses. *European journal of operational research*, 108, 16-25.
- ROSENBLATT, M. J. & ROLL, Y. 1984. Warehouse design with storage policy considerations. *The International Journal of Production Research*, 22, 809-821.
- ROUWENHORST, B., REUTER, B., STOCKRAHM, V., VAN HOUTUM, G.-J., MANTEL, R. & ZIJM, W. H. 2000. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.
- ROWLEY, J. 2000. The principles of warehouse design. *The Institute of Logistics & Transport, Corby*.
- VAN DEN BERG, J. P. 1996. Class-based storage allocation in a single-command warehouse with space requirement constraints. *International Journal of Industrial Engineering*, 3, 21-28.
- ZHANG, G., XUE, J. & LAI, K. 2002. A class of genetic algorithms for multiple-level warehouse layout problems. *International Journal of Production Research*, 40, 731-744.

